

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE

Měření opotřebení keramických břitových destiček.

Tool Wear Measuring of Ceramic Cutting Inserts

Student: Tomáš Horák

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Kratochvíl

Ostrava 2009

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou práci včetně všech příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 22. května 2009

podpis

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....
jméno a příjmení studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

.....

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HORÁK, T.: Měření opotřebení keramických břitových destiček. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 56 s.

Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Jiří KRATOCHVÍL

V této bakalářské práci je obsažen teoretický rozbor vlastností keramických řezných materiálů a jejich opotřebovávání při obrábění. Jsou zde porovnány dva typy keramických řezných destiček z hlediska jejich opotřebení při obrábění a kvality obrobeného povrchu.

ANNOTATION OF THESIS

HORÁK, T.: Tool Wear Measuring of Ceramic Cutting Inserts, Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 56 p.

Thesis, head: Ing. Jiří KRATOCHVÍL

This bachelor's work including theoretical analysis of characteristics of ceramic cutting materials and their detrition during cutting. Here are compared two types of ceramic cutting tips in light of their wear during cutting and quality machined surface.

Obsah

Seznam použitých zkratek	6
1. Úvod	8
2. Řezná keramika	9
2.1 Charakteristika řezné keramiky	9
2.2 Využití řezné keramiky v oblasti obrábění - soustružení	15
2.3 Uplatnění řezné keramiky	17
3. Základní požadavky na řezný nástroj.....	19
4. Vliv pracovních podmínek na intenzitu otupování bříty	21
4.1. Trvanlivost bříty.....	22
4.2. Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách	22
5. Procesy opotřebení.....	24
5.1. Základní druhy opotřebení.....	24
5.1.1. Mechanické opotřebení	26
5.1.1.1. Adhezní opotřebení.....	26
5.1.2. Chemicko – difusní opotřebení	26
5.1.2.1. Difúzní opotřebení.....	27
5.1.2.2. Chemické opotřebení (oxidační).....	27
5.1.3. Brusné opotřebení	27
6. Formy otupení bříty	29
7. Vlastní měření	32
7.1 Obráběný materiál.....	32
7.2 Řezný materiál.....	34
7.2.1 Charakteristika řezného materiálu DISAL 210	34
7.2.2 Charakteristika řezného materiálu DISAL 420	34
7.3 Použité stroje a přístroje.....	35
7.4 Postup práce	41
7.5 Zpracování a srovnání výsledků měření.....	43
7.5.1 Opotřebení břitové destičky DISAL 210.....	45
7.5.2 Opotřebení břitové destičky DISAL 420.....	48
Závěr	54
Seznam použité literatury	55
Seznam příloh.....	56

Seznam použitých zkratk

Značka	Název	Jednotka
ap	hloubka řezu	mm
CVD	chemické povlakování	
D	průměr polotovaru	mm
E	modul pružnosti	MPa
f	posuv	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
HB	tvrdost podle Vickerse	
HV	tvrdost podle Brinella	
KB	šířka žlábků na čele	mm
KL	vzdálenost od ostří k okraji žlábků	mm
KM	vzdálenost od ostří ke středu žlábků	mm
KT	hloubka žlábků na čele	mm
k_{vHB}	korekce na tvrdost obrobku	
k_{vM}	korekce na materiál	
k_{vT}	korekce na trvanlivost	
k_{vX}	korekční součinitel stavu stroje	
l	délka polotovaru	mm
n	otáčky	mm^{-1}
$P_{\text{s,f,r}}$	nástrojová rovina ostří, boční, základní	
PVD	fyzikální povlakování	
R_a	střední aritmetická úchylka profilu	μm
R_q	střední kvadratická odchylka profilu	μm
R_m	mez pevnosti	MPa
R_{md}	pevnost v tlaku	MPa
R_{mo}	pevnost v ohybu	MPa
R_z	největší výška profilu	μm
r_ε	zaoblení špičky	°
SK	slinutý karbid	
T	teplota	°C
t	tloušťka stěny polotovaru	mm
T_n	trvanlivost břitu nástroje	min
t_s	strojní čas	min
VB	opotřebení na hřbetě	mm
VB_h	opotřebení hlavního hřbetu	mm
VB_v	opotřebení vedlejšího hřbetu	mm
v_c	řezná rychlost	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
VR	radiální opotřebení	mm
v_T	výsledná řezná rychlost	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
v_{Tab}	tabulková řezná rychlost	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
α_o	nástrojový úhel hřbetu v rovině ortogonální	deg
β_o	nástrojový úhel břitu v rovině ortogonální	deg
γ_o	úhel čela v rovině ortogonální	deg
δ	úhel řezu	°

ε_r	nástrojový úhel špičky	◦
κ'_r	úhel nastavení vedlejšího ostří	◦
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří	◦
π	Ludolfovo číslo	
ψ_r	nástrojový doplňkový úhel nastavení	◦

1. Úvod

S rostoucími nároky na řezné parametry při třískovém obrábění se současně zvyšují i nároky kladené na řezné nástroje, které musí být schopny při těchto podmínkách obrábět a současně si zachovat stejné, ne-li vyšší časy trvanlivosti bříty, odolnost vůči opotřebení s odpovídající kvalitou povrchu apod.

Řezná keramika patří mezi netradiční řezné materiály, které umožňují mimo jiné využití dvou až čtyř násobně vyšší řezné rychlosti oproti slinutým karbidům při dodržení určitých zásad obrábění.

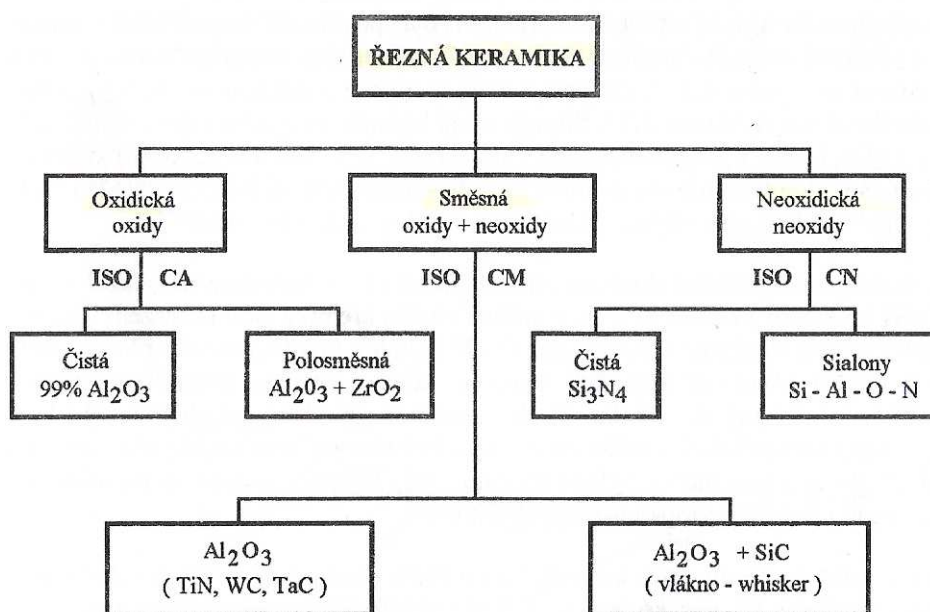
Tato práce se zabývá srovnáním dvou keramických řezných materiálů z hlediska opotřebení bříty nástroje a s tím související kvality obrobeného povrchu při obrábění litinového materiálu.

Cílem této práce je pro předem dané parametry obrábění vybrat právě jednu ze dvou zkoušených břitových destiček, která bude vykazovat nejlepší řezné vlastnosti.

2. Řezná keramika

Chceme – li definovat pojem keramika, můžeme říci, že je to *materiál převážně krystalický, složený především z anorganických sloučenin nekovového charakteru*. [4]

Současný sortiment řezné keramiky, který se vyskytuje na trhu, je znázorněn na obrázku 2.1.



Obr. 2.1. Členění řezné keramiky [6]

2.1 Charakteristika řezné keramiky

Výchozí surovinou jsou velmi čisté a jemnozrnné prášky základních surovin (oxidy – Al₂O₃, Y₂O₃, ZrO₂, karbidy – TiC, TiN a nitrid Si₃N₄), které se dokonale mísí, tvarují, suší, slinují a nakonec upravují do požadovaného tvaru. Teploty tavení a tvrdost podle Vickerse jsou pro vybrané keramické materiály uvedeny v tabulce 2.1. Na rozdíl od slinutých karbidů neobsahují keramické břitové destičky prakticky žádnou pojíci fází. [6]

Tab. 2.1. Teploty tavení a tvrdosti vybraných keramických materiálů [7]

Materiál	Teplota tavení [°C]	Tvrdost [HV]
Al ₂ O ₃	2050	2000
ZrO ₂	2700	
Si ₃ N ₄	1900	1000
SiC	2200	2500
KNB ¹⁾	(3000)	4700 (200)

V oblasti řezných materiálů jsou keramické materiály s výhodou využívány především pro tyto vlastnosti [6]:

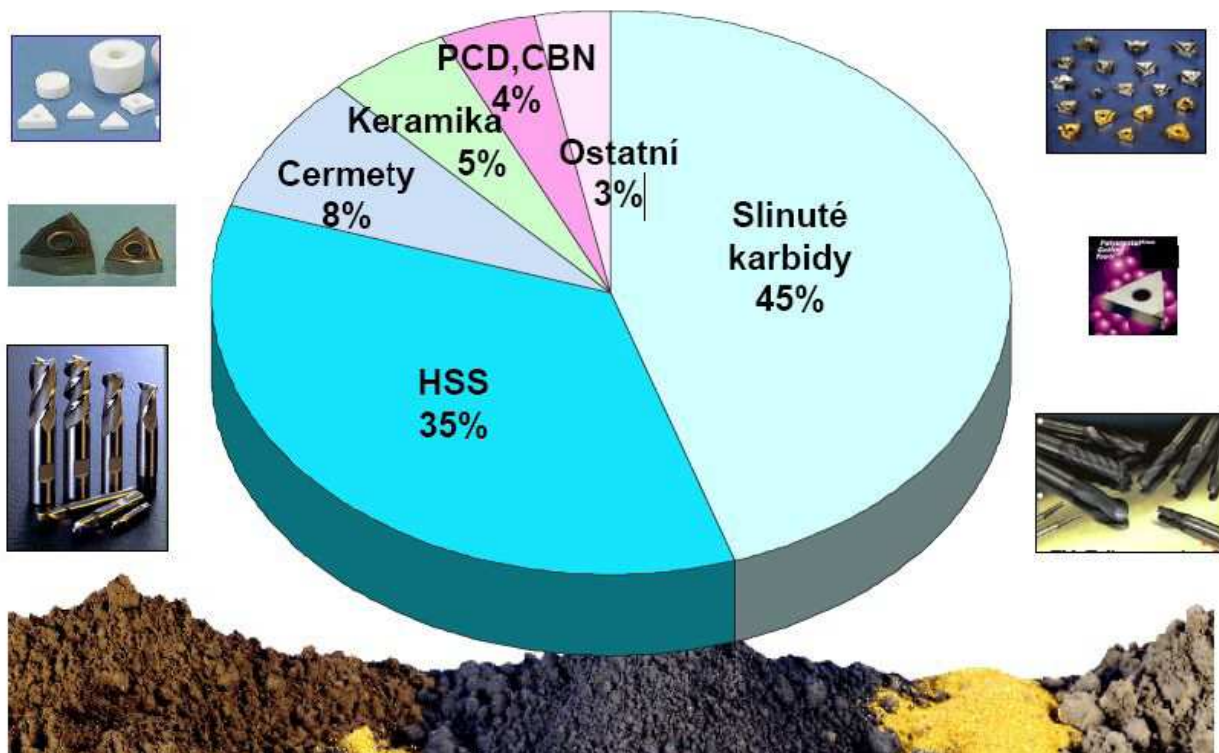
- vysokou tvrdost,
- nízkou měrnou hmotnost,
- odolnost proti působení vysokých teplot,
- odolnost proti mechanickému namáhání,
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi,
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů,
- poměrně nízká cena.

Řezná keramika patří do skupiny netradičních řezných materiálů a její použití představuje cca 4–5 % z celkového objemu řezných materiálů, viz. obr. 2.2.

Tento materiál nemá nahradit doposud používané řezné materiály, ale má rozšířit možnosti volby pro hospodárnější úběr materiálu.

Existují ale specifické oblasti průmyslu jako letecký, kosmický a automobilový, kde je toto procento daleko vyšší a řezná keramika zde přispěla k celkové intenzifikaci řezného procesu, protože díky svým vlastnostem umožňuje dosahovat i řezných rychlostí vyšších než 1000 m/min.

Nástroje osazené řeznou keramikou jsou vhodné zejména pro velkosériovou a hromadnou výrobu při stálých podmínkách obrábění. Jedná se hlavně o tvrzené litiny, tvrzené oceli, povrchově cementované a cementované oceli. [5]



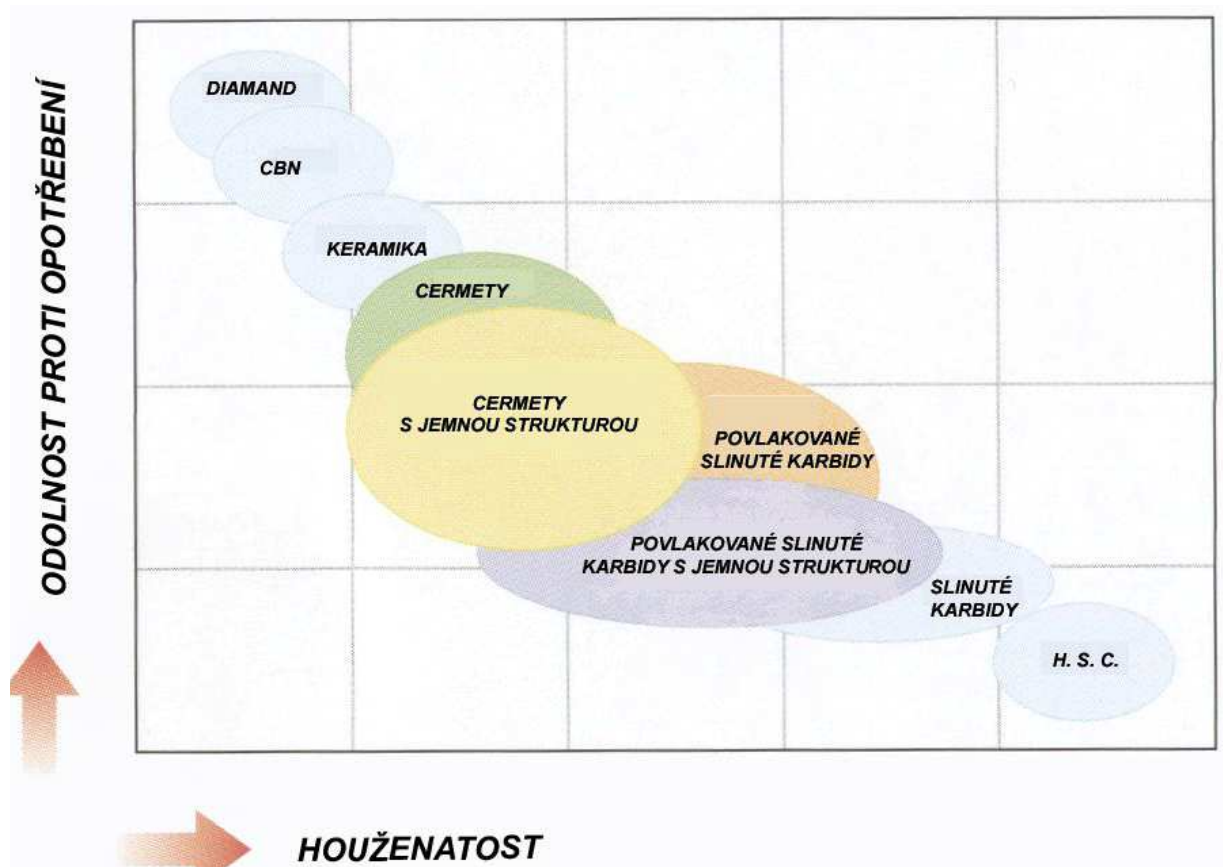
Obr. 2.2. Světová produkce řezných materiálů v % [4]

Tvrдость řezné keramiky při teplotě 1000°C je srovnatelná s tvrdostí ocelí při pokojové teplotě. Proto lze úspěšně uplatnit řeznou keramiku na bázi Al_2O_3 při vysokých teplotách, které vznikají při obrábění zakalených materiálů. Ve srovnání ze slinutým karbidem lze při soustružení oxidickou keramikou realizovat dvou až čtyřnásobně vyšší řeznou rychlost. Rozsah použití řezné keramiky je znázorněn na obrázku 2.5.

S teplotou ohybová pevnost keramik klesá, z počátku pozvolna za vysokých teplot rychleji. I když keramické materiály mají za studena většinou nižší pevnost než materiály kovové, uchovávají si ji až do značně vysokých teplot, kdy u kovů již dochází k prudkému poklesu pevnosti. Na obrázku 2.3. je zobrazena závislost odolnosti proti opotřebení a houževnatosti řezných materiálů.

Pevnost keramiky je snižována zejména v důsledku působení těchto faktorů [6]:

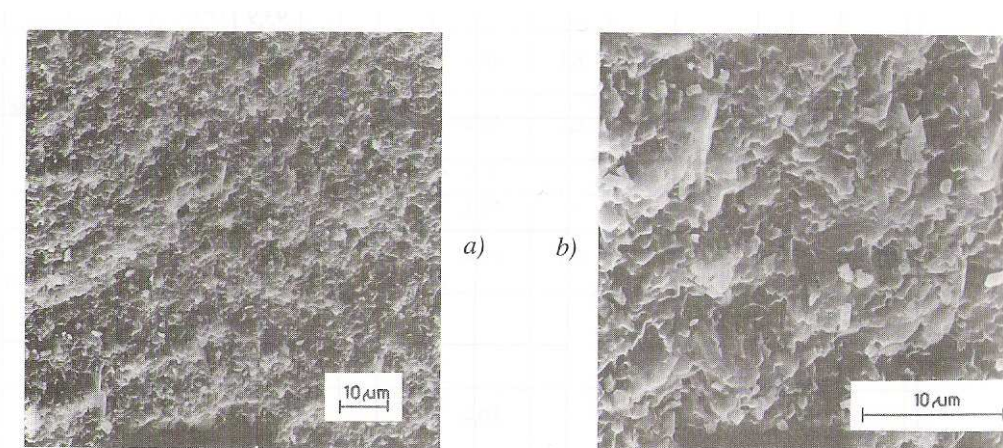
- strukturní defekty atomárních a submikrometrických rozměrů,
- vady a koncentrátoři napětí příslušející mikrostruktuře,
- povrchové mikrotrhlínky a vady,
- trhlínky a vady vzniklé nesprávným technologickým postupem.



Obr. 2.3. Porovnání odolnosti proti opotřebení a houževnatosti řezných materiálů [4]

Z hlediska struktury jsou mechanické a lomové vlastnosti keramiky ovlivněny zejména [7]:

- charakterem chemické vazby, která je převážně iontová nebo kovalentní a protože výrazně ovlivňuje pohyblivost a manévrovatelnost dislokací, je hlavní příčinou křehkosti keramiky
- složitější krystalovou strukturou
- prostorovým uspořádáním částic různých tvarů a rozměrů, fází, pórů a trhlin.



Obr. 2.4. Lomová plocha řezné keramiky DISAL 100 [7]

a) základní obrázek, b) detail obrázku a

Čistá oxidická keramika – má relativně nízkou houževnatost a odolnost proti teplotnímu rázu, vysokou odolnost proti opotřebení a vynikající chemickou stálost. Je tvořena velmi čistým, jemnozrnným oxidem hlinitým Al_2O_3 s přidavkem velmi malého množství látek usnadňujících slinování a zabraňujících růstu zrn. Čistá oxidická keramika je méně houževnatá, a proto i méně odolná proti křehkému lomu.

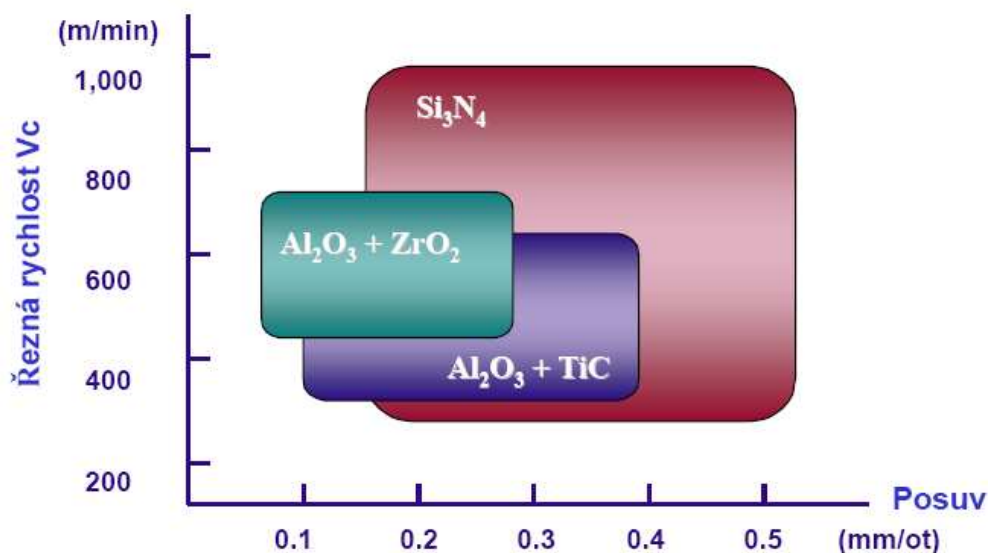
Směsná oxidická keramika je tvořena směsí oxidu hlinitého Al_2O_3 a neoxidických materiálů TiC, TiN a dalších v objemu asi 20 – 40%. Materiál má lepší tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu. Destičky se vyrábějí obvykle lisováním za tepla a mají charakteristickou černou barvu.

Keramika vyztužená whiskery – v porovnání se směsnou keramikou vykazuje whiskerová keramika až o 60% zvýšení houževnatosti. Nejvýznamnější funkcí whiskerů v matrici je, ale snížení náchylnosti k šíření trhlin a tím k vyštipování a vylamování materiálu břitů. Zlepšuje se též mez únavy při střídavém namáhání nástroje a roste odolnost proti tepelným šokům, takže řeznou keramikou vyztuženou whiskery je možno obrábět pod řeznou kapalinou. Mezi nevýhody tohoto zeleně zbarveného materiálu patří afinita SiC na železo při vysokých pracovních teplotách i možnost zdravotního ohrožení obsluhy.

Tab. 2.2. Fyzikální a mechanické vlastnosti whiskerů a matric [7]

Vlastnost	Whiskery SiC				Whiskery Si ₃ N ₄	Matrice	
	ARCO ¹⁾	TATEHO ¹⁾	TOKAI ¹⁾	VERSAR ¹⁾	TATEHO ¹⁾	Si ₃ N ₄	Al ₂ O ₃
Délka [μm]	10-80	10-40	50-500	20-400	50-300		
Průměr [μm]	0,6	0,05-0,20	0,5	1-10	0,2-0,5		
Modul pružnosti v tahu [GPa]	680	490	400-700	550	385	300-427	400-440
Pevnost [GPa]	6,8 ²⁾	21 ²⁾	3-14 ²⁾	18 ²⁾	14 ²⁾	0,60-0,95 ³⁾	0,7 ³⁾
Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	3,2	3,18			3,18	3,26	3,98
Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	4,7	4,4-4,7			2,4-2,5	2,9-3,2	8,2-8,9
Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]		40-400				30-60	25

Neoxidová keramika je vytvářena na bázi nitridu křemíku Si₃N₄. Z hlediska obrábění má vyšší lomovou houževnatost než směsná keramika, má výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost na tepelné rázy. Vzhledem k nižší chemické stabilitě není vhodná pro obrábění oceli. [6]



Obr. 2.5. Rozsah použití řezné keramiky [4]

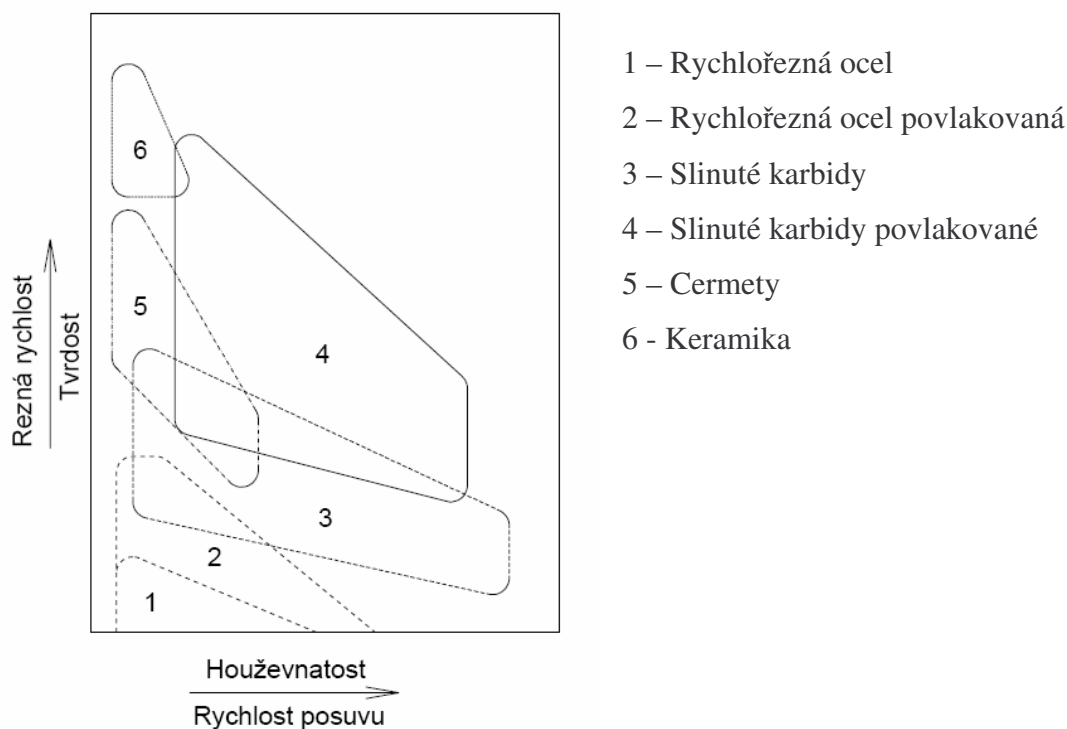
2.2 Využití řezné keramiky v oblasti obrábění - soustružení

Řezná keramika, jak již bylo konstatováno, patří mezi velmi výkonné nástrojové materiály, její nasazení ve strojírenské výrobě ale vyžaduje dodržet určité zásady, aby se její vhodné vlastnosti mohly v plné míře projevit a nevýhodné potlačit.

K hlavním podmínkám efektivního využití řezné keramiky při soustružení patří zejména:

- vysoká tuhost systému stroj - nástroj – obrobek,
- využití výkonných obráběcích strojů s širokým rozsahem posuvů a otáček,
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku,
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu,
- zakrytování pracovní části obráběcího stroje,
- atd. [7]

Pro efektivní využití řezné keramiky jsou kladeny nároky na dodržení určitých zásad popsaných výše. Většina druhů řezných keramik má jen úzkou specifickou oblast využití viz. tabulka 2.3. [4]



Obr. 2.6. Oblast použití řezných materiálů [4]

Tab. 2.3. Využití keramických materiálů [4]

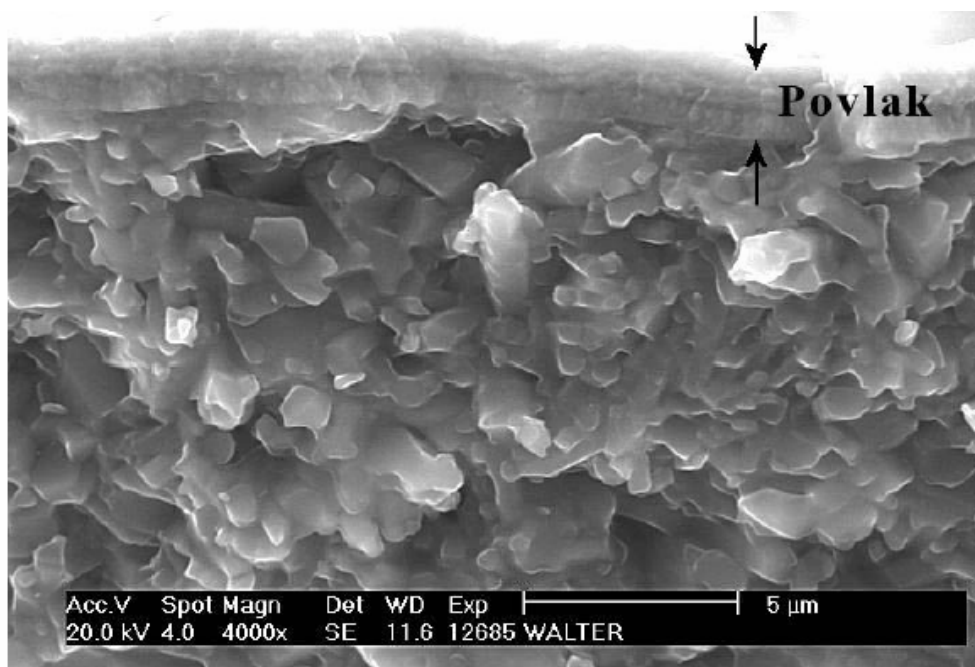
Druh řezné keramiky	Charakteristické použití řezné keramiky	Charakter řezu
Al_2O_3	obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem a vysokými rychlostmi za sucha	dokončovací operace
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	obrábění šedé, tvárné a temperované litiny, konstrukčních i zušlechtěných ocelí za sucha	střední a dokončovací operace, částečně přerušovaný řez
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	obrábění kalených ocelí a těžko obrobitelných materiálů s částečně přerušovaným řezem za sucha i s chlazením, obrábění šedé litiny a tvrzených litin	střední a dokončovací operace, včetně středního a dokončovacího frézování
Al_2O_3 +whiskery SiC	obrábění žáruvzdorných a žáropevných materiálů a kalené oceli	hrubovací i dokončovací operace při soustružení i frézování
keramika na bázi Si_3N_4	obrábění všech druhů litin, slitin na bázi Ni za sucha a i s chlazením	hrubovací i dokončovací operace při soustružení i frézování

2.3 Uplatnění řezné keramiky

Spolu s cermety pokrývá keramika oblasti aplikace původně obsazené slinutými karbidy, zejména soustružení, vyvrtávání a frézování šedé litiny, žárovevných a žáruvzdorných slitin, zušlechtěných ocelí, tvárné a temperované litiny a do určité míry i oceli.

Keramické vyměnitelné destičky mají jednodušší tvar než destičky ze SK. Utváření třísky se řeší jednoduchým předlisovaným nebo vybroušeným stupínkem nebo přiloženou karbidovou destičkou. Také keramické vyměnitelné břitové destičky je možné povlakovat, a to metodou CVD i PVD viz. obr. 2.7, což výrazně nezvýší tvrdost, ale zvýší se mez únavy a odolnost proti vzniku povrchových trhlin. [6]

Keramika má většinou vysoký bod tání a poměrně nízkou hustotu. Proto jsou předurčena pro využití v automobilovém, leteckém a kosmickém průmyslu. Porovnání pevnosti v tlaku a v ohybu řezné keramiky a dalších řezných materiálů je znázorněno v tabulce 2.4. [4]



Obr. 2.7. Povlakovaná řezná keramika WSN10 (povlak $\text{TiN/Al}_2\text{O}_3$) [4]

Tab. 2.4. Srovnání pevností v tlaku a v ohybu [4]

Řezný materiál	Tvrdost HV	Pevnost v tlaku R_{md} (MPa)	Pevnost v ohybu R_{mo} (MPa)	Teplotní odolnost (°C)
Rychlořezná ocel	750 – 800	2500 – 3500	2000 – 3000	560 – 610
Slinuté karbidy	1300 – 2000	4000 – 5600	900 – 2200	900 – 1100
Řezná keramika	2000 – 2800	3500 – 4500	450 – 1000	1300 – 1600
Kubický nitrid bóru	4500	4000	600	1500
Diamant	7000	3000	300	320 – 720

3. Základní požadavky na řezný nástroj

Tvar řezné části nástroje a její polohu vůči obrobku charakterizují geometrické parametry řezného klínu. Správná volba geometrických parametrů břitu nástroje výrazně ovlivňuje produktivitu práce i jakost obrobené plochy [3].

Požadavky na řeznou část nástroje [3]:

1. **Dostatečná pevnost břitu** - podstatná především u řezných materiálů s nižší pevností v ohybu a při obrábění materiálů s vysokou pevností a při přerušovaném řezu.
2. **Vysoká trvanlivost břitu nástroje** - vhodná volba geometrických parametrů břitu při zachování všech potřebných vlastností nástroje s ohledem na maximální trvanlivost.
3. **Vhodný poměr velikosti složek řezné síly** - vysoká tuhost soustavy stroj - nástroj – přípravek - obrobek.
4. **Stabilita procesu řezání** - platí pro nástroje, jejichž tuhost je v jednom či více směrech vzhledem k jejich konstrukci nedostatečná.
5. **Požadavky kladené na integritu obrobené plochy včetně přesnosti rozměrů.**

Třískové obrábění je značně složitým fyzikálním procesem, který je ovlivňován mnohými faktory majícími v různých podmínkách na proces různý vliv.

Základní faktory jsou [3]:

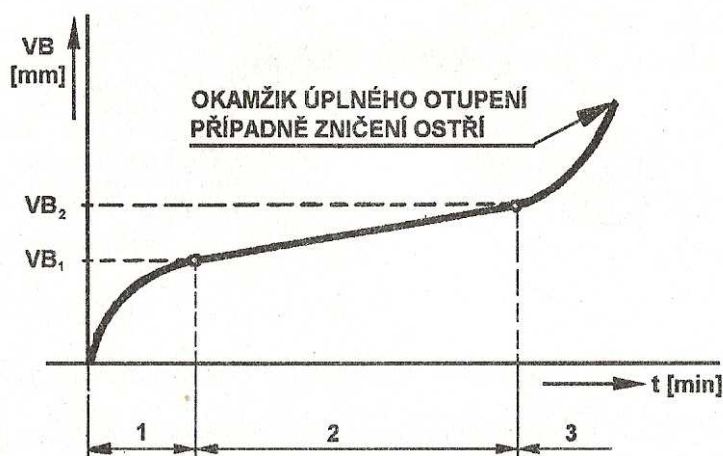
- řezivost a obrobitelnost daných materiálů,
- průřez odebírané vrstvy,
- řezné parametry,
- tuhost systému,
- stroj – nástroj – obrobek,
- výkon obráběcího stroje,
- řezné prostředí,

a jiné již méně podstatné veličiny. Proto je také stanovování geometrie břitu řezného nástroje velmi obtížné a komplikované. Každý z parametrů má na řezný proces samostatný, ale i společný vliv. Ten se pak případ od případu může u jednotlivých parametrů zesilovat či zeslabovat v závislosti na konkrétních, zpravidla již neopakovatelných podmínkách.

4. Vliv pracovních podmínek na intenzitu otupování břitu

Časový průběh otupování břitu závisí především na tepelném zatížení, tj. na řezné rychlosti, do určité míry také na jeho mechanickém zatížení. Při menších řezných rychlostech a normálním mechanickém zatížení břitu, kdy se otupuje pouze otěrem, je průběh jeho otupování na hřbetě obdobný klasické křivce závislosti na opotřebení na čase viz. obr. 4.1.

Jsou zde zřetelné tři fáze. V první dochází vlivem malé stykové plochy – velký měrný tlak – k rychlému růstu otřené plochy. Ve druhé fázi se intenzita otěru opět zvyšuje a v krátké době se může břit úplně porušit. Třetí fáze nastává v okamžiku, kdy břit je předcházejícím otupením zeslaben (výmol na čele se přiblíží těsně k ostří) a pevnost materiálu povrchové vrstvy břitu na stykových místech je následkem tepelného a mechanického zatěžování snížena [1].



Obr.4.1. Závislost opotřebení na čase [2]

4.1. Trvanlivost břítu

Trvanlivost břítu nástroje T_n je celková doba, po kterou je nástroj v záběru schopen odebírat třísku, nebo-li součet čistých řezných časů, tedy doba práce nástroje od naostření až do úplného otupení [2]

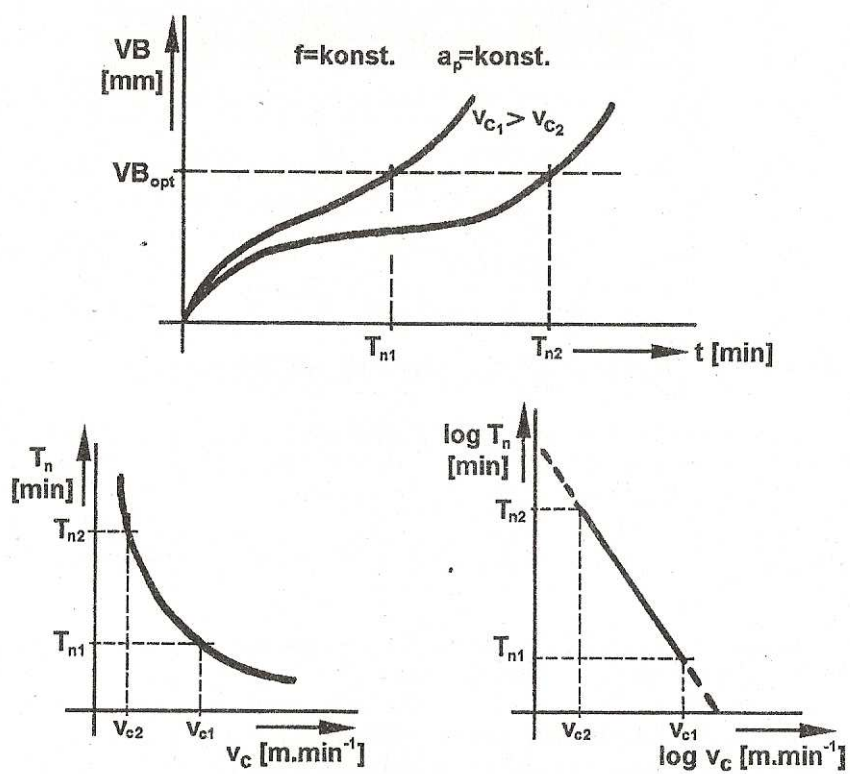
Z hlediska fyzikální podstaty opotřebení, respektive z hlediska průběhu opotřebení lze jmenovat tři základní příčiny opotřebení [2]:

- opotřebení čela a hřbetu nástroje v důsledku postupného otírání funkčních ploch břítu, tj. opotřebení otěrem, jehož průběh je funkcí doby řezání,
- opotřebení břítu nástroje, jako důsledek mechanického opotřebení břítu nástroje, projevujícího se vydrolením nebo vylomením ostří – tzv. křehký lom ostří,
- otupení břítu nástroje v důsledku plastické deformace povrchových vrstev funkční části břítu – tzv. plastické opotřebení.

4.2. Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách

Vliv řezných podmínek na trvanlivost břítu je v obráceném poměru s jejich vlivem na intenzitu opotřebení. V souladu s jejím vlivem na intenzitu otěru ovlivňuje délku trvanlivosti při obrábění daného materiálu nejvíce řezná rychlost. Závislost $T_n = f(v_c)$ pro daný případ obrábění lze stanovit takto [2]:

Vynesením hodnot řezných rychlostí a jim odpovídajících hodnot trvanlivosti do diagramu $T_n = f(v_c)$ v kartézských souřadnicích lze získat exponenciální křivku, která má v logaritmických souřadnicích přímkový tvar, viz. obr. 4.2.



Obr. 4.2. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti [2]

5. Procesy opotřebení

Základní procesy opotřebení jsou tyto :

- 1) **Mikrořezání** –vrypy tvrdými částicemi.
- 2) **Plastické vytěsňování** – vtlačování materiálu do stran, pod sebe, nebo před sebou (vznik charakteristické rýhy).
- 3) **Delaminace** – oddělení materiálu z povrchu vlivem plastické deformace po vyčerpání plastických schopností materiálu.
- 4) **Vytrhávání** – vlivem velkého vnitřního napětí v povrchové vrstvě materiálu.
- 5) **Hlubkové porušení** – výrazná forma vytrhávání.

Faktory ovlivňující opotřebení:

Proces opotřebení je ovlivněn především 5 faktory :

- 1) druhem a charakterem funkčních povrchů, popř. charakterem opotřebovávajícího média,
- 2) charakterem vzájemného relativního pohybu,
- 3) charakteristikou zatížení,
- 4) charakterem prostředí,
- 5) charakterem a množstvím mazací vrstvy.

5.1. Základní druhy opotřebení

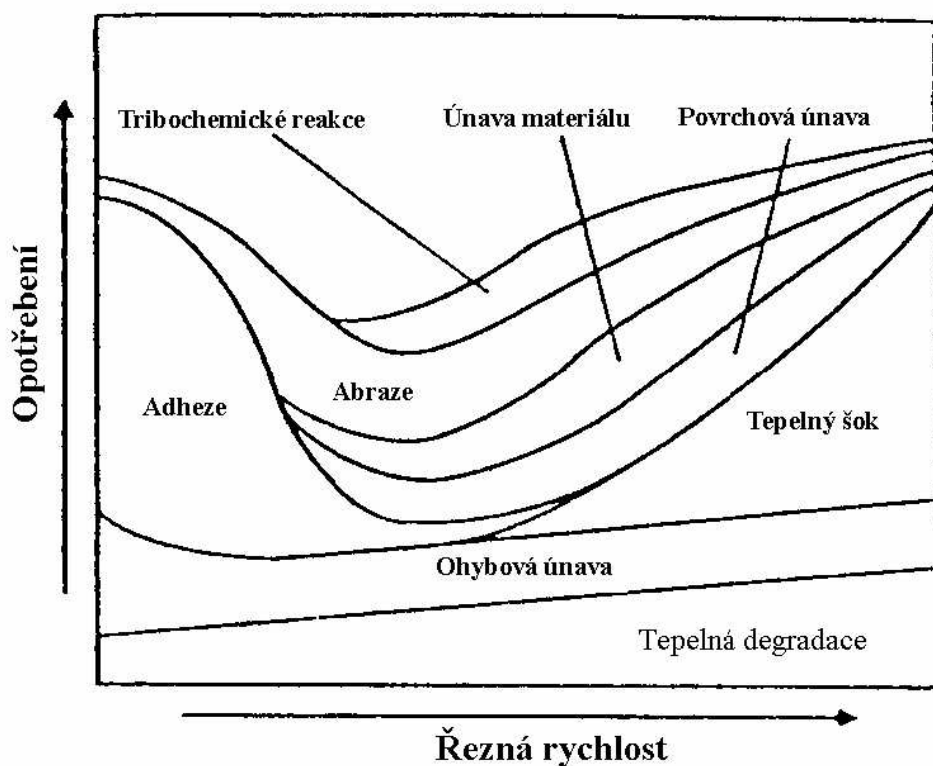
Opotřebení břitů [1]

Jedná se o složitý, fyzikálně chemický proces, značně odlišný od normálního opotřebení strojních součástí. Rozdíl je jednak v objemu opotřebovaného materiálu za časovou jednotku, jednak také ve změnách, k nimž dochází v mezních vrstvách materiálů troucích se ploch.

Tento proces souvisí z několika kvalitativně odlišnými jevy, jejichž vliv na intenzitu opotřebení se mění podle kombinace použitého rezného materiálu a materiálu obráběného, použitých rezných podmínek apod. [2].

U strojních součástí prakticky nedochází v mezních vrstvách materiálu k žádným změnám jejich mechanických vlastností, ke změnám jejich mikrostruktury

a chemického složení, kdežto při tření břitu a obrobku jsou tyto změny průvodním jevem.



Obr. 5.1. Příčiny opotřebení řezných nástrojů [4]

Tato zásadní rozdílnost souvisí se značně odlišným mechanickým a tepelným zatížením troucích se ploch strojních součástí a stykových míst břitu.

Experimentální práce prokazují, že proces opotřebovávání břitu je výslednicí komplexů jevů zahrnujících děje fyzikální a chemické.

Do skupiny fyzikálních jevů způsobující opotřebení patří [1]:

- a) brusný účinek,
- b) adheze.

Do skupiny chemických jevů patří [1]:

- a) difúze,
- b) vytváření chemických sloučenin na stykových místech břitu.

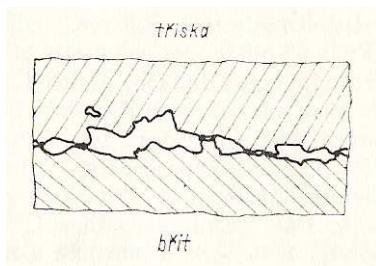
5.1.1. Mechanické opotřebení

Tento druh opotřebení souvisí s mechanickými účinky odcházející třísky a plochy řezu, které nevyvolávají žádné změny chemické ve složení povrchových vrstev funkčních ploch bříty. Podle jevů, kterými je tento druh opotřebení způsobován, jde o opotřebení abrazivní a adhezní [2].

5.1.1.1. Adhezní opotřebení

Adhezní forma opotřebení je význačným faktorem působícím při otupování bříty nástrojů z uhlíkových a rychlořezných ocelí. V menší míře se vyskytuje při otupování nástrojů ze slinutých karbidů a keramických materiálů.

Pracovní plochy bříty, stejně jako plochy třísky trouchí se o čelo a plochy řezu trouchí se o hřbet nejsou ideálně hladké, mají určitou drsnost, a dotýkají se proto pouze vrcholky svých nerovností viz. obr. 5.2.



Obr. 5.2. Dotyk pracovních ploch bříty s třískou [1]

Důsledkem toho je vysoký měrný tlak, což spolu poměrně vysokou teplotou vede k intenzivní místní plastické deformaci materiálu obou stýkajících se těles. Protože jde zpravidla o styk kovově čistých povrchů, vedou tyto podmínky k vytváření lokálních spojů – mikrosvářů.

Na intenzitu adheze a tím i adhezního opotřebení má vliv řada faktorů. Je to především chemická příbuznost obou materiálů a jejich náchylnost k vytváření adhezních spojů. [1]

5.1.2. Chemicko – difusní opotřebení

Tento druh opotřebení souvisí se změnou chemického složení povrchové vrstvy řezného nástroje v místě styku nástroje s třískou a plochou řezu. Změnou chemického složení povrchové vrstvy řezného nástroje se obvykle zhorší mechanické vlastnosti povrchové vrstvy bříty a její odolnost proti otěru.

Nejčastější příčinou změny chemického složení povrchových vrstev břitů jsou difúzní pochody, při kterých přecházejí určité prvky z řezného materiálu do materiálu obráběného a obráceně. Tyto difúzní pochody mohou probíhat za vyšších teplot [2].

5.1.2.1. Difúzní opotřebení

Difúzní opotřebení patří do kategorie chemického otěru. Dochází k němu při takových řezných podmínkách, při nichž teplota stykových míst břitů dosáhne disociační teploty některého prvku obou materiálů. Nejaktivnějšími prvky v difúzním procesu je Fe a Co.

Intenzita difúze a tím i difúzního opotřebení nezávisí na mechanických vlastnostech materiálu obrobku a břitů. Závisí pouze na jejich chemickém složení, teplotě a měrném tlaku na stykových místech, jejich čistotě a relativní rychlosti s níž se difundující materiály pohybují.

Intenzita otěru při reaktivní formě difúze závisí na rychlosti chemické reakce jednotlivých prvků na hranici obou stýkajících se kovů a na stálosti nově vytvořené mezikovové fáze.

Difúze podporuje také to, že do kontaktu s pracovními místy břitů přicházejí stále nové povrchy materiálu třísky a obrobku nezasažené dosud procesem difúze. [1].

5.1.2.2. Chemické opotřebení (oxidační)

Chemickým opotřebením označujeme vytváření defektní vrstvy na pracovních místech břitů v důsledku jejich oxidace působením vzdušného kyslíku, popř. v důsledku vytváření chemických sloučenin z prvků řezného materiálu a řezného prostředí.

K oxidaci dochází již za nejmenších rychlostí, tj. za nízkých teplot řezání. Její intenzita se podstatně zvyšuje, přesáhne-li teplota řezání 700°C. U slinutých karbidů na bázi WC se oxidace povrchových vrstev s rostoucí teplotou kontinuálně zvětšuje [1].

5.1.3. Brusné opotřebení

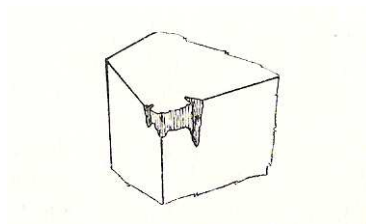
Dochází k němu nejen u nástrojů z nástrojové a rychlořezné oceli, ale také u nástrojů ze slinutých karbidů. Vzniká tím, že tvrdé částice materiálu třísky, popř.

na povrchu plochy řezu, vytvářejí mikrorýhy na stykových místech bříty s třískou a plochou řezu.

Předpokladem ke vzniku brusného opotřebení je, aby tvrdost některých mikročástic materiálu třísky a obrobku převyšovala tvrdost určitých částic materiálu bříty.

Brusnému opotřebení napomáhají také fázové a strukturní přeměny, k nimž dochází v povrchové vrstvě materiálu bříty u nástrojů rychlořezných ocelí. Intenzita brusného opotřebení je tím větší, čím větší jsou rozměry karbidů v mikrostruktuře materiálu obrobku. To vysvětluje zvýšenou intenzitu opotřebení při obrábění materiálů se strukturou destičkového perlitu proti ocelím se strukturou perlitu zrnitého.

Brusné opotřebení je významné především při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností.



Obr. 5.3. Rýhy na bříty vytvořené zpevněnými částicemi materiálu obrobku [2]

6. Formy otupení břitu

Forma otupení břitu řezného nástroje, tj. změna jeho tvaru, k níž dochází v průběhu jeho záběru s materiálem obrobku, závisí na materiálu břitu a obrobku a na použitých řezných podmínkách, zejména řezné rychlosti, tloušťce třísky a úhlu řezu.

Obráběný materiál a odcházející tříska namáhají břit nástroje tepelně a mechanicky. Vysoká teplota v místě řezu a otěrné účinky třísky i obráběného materiálu způsobují při práci postupné opotřebovávání břitu nástroje až k jeho úplnému otupení, kdy nástroj ztrácí svoji schopnost řezat. [2]

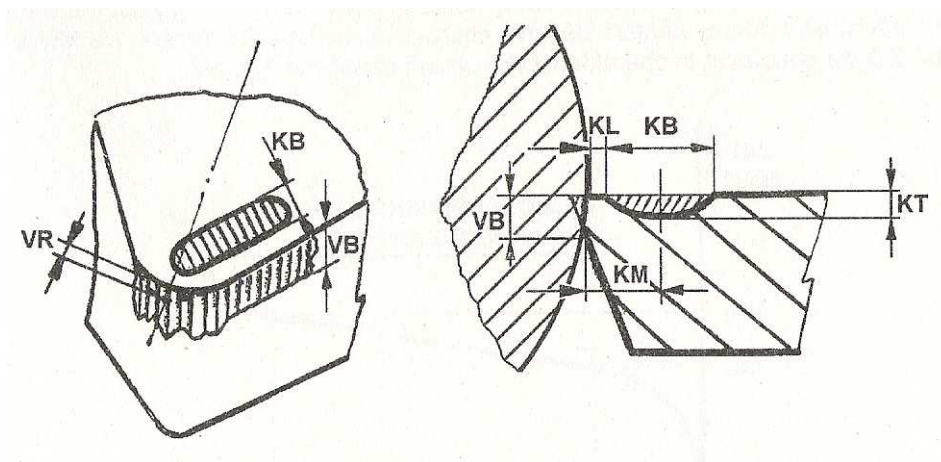
Výchozí tvar břitu naostřeného nástroje se mění [2]:

- a) úběrem materiálu břitu na hřbetě, kde se vytváří nepravidelná ploška, viz. obr.6.1.,
- b) úběrem materiálu na čele ve tvaru žlábků, viz. obr. 6.1.,
- c) úběrem materiálu ve formě stupínku na čele,
- d) křehkým lomem mikročástic v těsné blízkosti ostří,
- e) zaoblením ostří plastickou deformací.

Opotřebení břitu řezného nástroje lze běžně určovat následujícími délkovými charakteristikami, viz. obr. 6.1. [2]:

- šířkou otřené plochy na hřbetu VB,
- hloubkou žlábků na čele KT,
- šířkou žlábků na čele KB,
- vzdáleností od ostří k okraji žlábků KL,
- vzdáleností od ostří ke středu žlábků KM,
- radiálním opotřebením VR

a rovněž objemem nebo hmotou opotřebovaného materiálu.



Obr. 6.1. Délkové charakteristiky opotřebení nástroje [2]

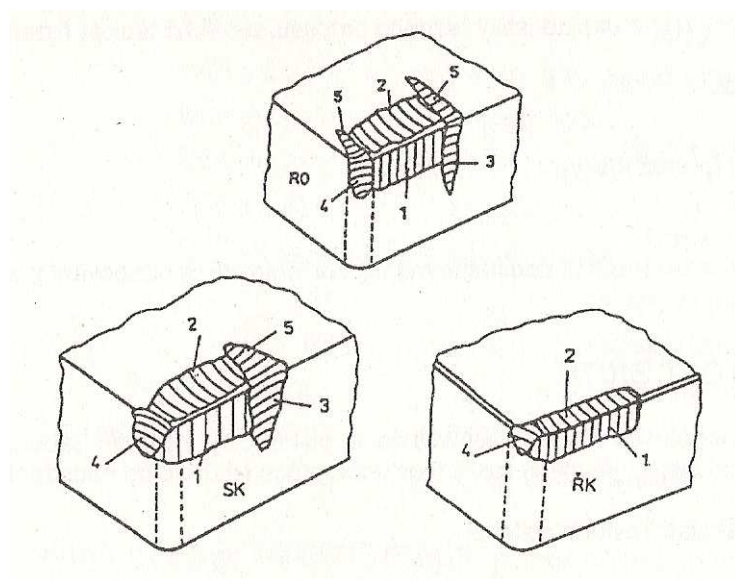
Změna tvaru břitu, k níž dochází v průběhu jeho záběru s materiálem obrobku, závisí na způsobu a době zatížení řezné části nástroje, která se otupuje na čele a na hřbetě. V praxi se sleduje v první řadě otupení vyjádřené pravidelně opotřebovanou ploškou na hřbetě a otupení projevující se výmolem na čele. Obě formy otupení jsou též kritériem trvanlivosti břitu.

Opotřebení hřbetu se projevuje charakteristickou ploškou, rozprostírající se většinou rovnoměrně na hřbetních plochách.

Opotřebení na čele se projevuje ve tvaru žlábků, který se začíná tvořit v určité vzdálenosti od ostří, rovnající se přibližně velikosti posuvu nástroje a během práce rovnoměrně narůstá. Šířka žlábků narůstá intenzivněji ve směru od ostří nože, než směrem k ostří. Mezi výmolem, respektive žlábkem se udržuje úzká ploška, jejíž hodnota KL se během práce opotřebováním břitu neustále zmenšuje. Rozměry žlábků se mění v přímé závislosti na velikosti součtu úhlů ($\alpha_0 + \beta_0$), respektive na velikosti úhlu čela γ_0 a na posuvu. [2]

Na obrázku 6.2. jsou zachyceny typické vzhledy břitu obráběcích nástrojů s projevy procesu opotřebení [2].

- 1 – fazetka opotřebení na hřbetu nástroje
- 2 – výmol (žlábek, kráter) na čele
- 3 – primární hřbetní rýha
- 4 – sekundární (oxidační) hřbetní rýha
- 5 – rýha na čele



Obr. 6.2. Opotřebení břitu nástrojů z různých materiálů [2]

Představu o průběhu opotřebování dávají křivky opotřebení. Tyto křivky opotřebení lze získat grafickým znázorněním závislosti hodnoty některé délkové charakteristiky na době řezání, viz. obr 4.1.

7. Vlastní měření

Měření bylo realizováno na základě požadavku firmy Saint - Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., o provedení srovnání dvou typů keramických břitových destiček z hlediska jejich opotřebení a drsnosti obrobeného povrchu při třískovém obrábění litinového materiálu.

Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov je největším výrobcem odvětví keramiky společnosti Saint-Gobain ve střední Evropě. Tato společnost je jednou z nejstarších a nejprestižnějších ve Francii. Byla založena bankéřem Colbertem v roce 1665 a hned se dostala do povědomí zakázkou na výrobu zrcadel do Zrcadlové síně na zámku ve Versailles. Dnes je Saint-Gobain výrobní společností s více než 170 tis. zaměstnanci, asi 1200 podniků po celém světě. Odvětví keramiky, přestože je ve skupině jedním z nejmladších, zaměstnává přibližně 16 tisíc lidí ve 170 podnicích. [8]

Tato kapitola bude pojednávat o praktickém zpracování měření, počínaje charakteristikou obráběného a řezného materiálu, použitých měřidel a přístrojů až po grafické zpracování zjištěných výsledků.

7.1 Obráběný materiál

Ke zkouškám byl použit materiál dodaný firmou Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov. Jednalo se o litinu ČSN 42 2425 jejíž struktura je tvořena perlitem (s malým množstvím feritu) s lupínkovým grafitem.

Chemické složení:

Tab. 7.1. Chemické složení materiálu 42 2425

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Ti [%]	Cu [%]
2,8 ÷ 3,3	1,8 ÷ 2,5	0,6 ÷ 0,8	0,5 ÷ 0,8	< 0,1	0,03 ÷ 0,10	≤ 0,8

Mechanické vlastnosti:

Tab. 7.2. Mechanické vlastnosti materiálu 42 2425

Mez pevnosti R_m [MPa] min	250
Tvrdość HB max	240
Modul pružnosti E [GPa]	125,9

Další informace jsou zřejmé z materiálového listu, viz. příloha č. 3.

Polotovár měl vnější průměr $D=82,5$ mm, tloušťku stěny $t=6$ mm a délku $l=130$ mm (viz. obr. 7.1).



Obr. 7.1. Materiál ČSN 42 2425

7.2 Řezný materiál

Pro obrábění litinového materiálu ČSN 42 2425 se využily břitové destičky z řezné keramiky firmy Saint - Gobain Advanced Ceramics, s.r.o.

K vzájemnému porovnání byly použity destičky typu DISAL 210 (D210) a DISAL 420 (D420).



Obr. 7.2. Keramická břitová destička D210

7.2.1 Charakteristika řezného materiálu DISAL 210

Směsná oxidová keramika (na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 a CoO) - vyniká kromě tvrdosti a odolnosti proti opotřebení za vysokých teplot i zvýšenou houževnatostí. Je vhodná pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny, konstrukčních, zušlechtěných i rychlořezných ocelí lehkým přerušovaným řezem. [8]

7.2.2 Charakteristika řezného materiálu DISAL 420

Nitridová keramika (na bázi Si_3N_4) - vyniká velmi vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti a umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití chladicí kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kůrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních řezných výkonů.

7.3 Použité stroje a přístroje

Soustruh

Obrábění probíhalo na dílenském soustruhu (viz. obr. 7.2), na kterém se nevyskytuje žádné označení typu, roku výroby, parametrů či výrobce kromě místa původu a to Bulharsko. Příčinnou neexistující dokumentace k tomu stroji je nejspíše fakt, že byl škole poskytnut jako dar po vyřazení z provozu některé firmy.



Obr. 7.3. Dílenský soustruh

Řezné podmínky byly nastaveny dle doporučení výrobce keramických břitových destiček Saint - Gobain Advanced Ceramics, s.r.o. Použita řezná rychlost je výsledkem následující rovnice:

$$v_T = v_{Tab} \cdot k_{vX} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \cdot k_{vM} \quad [9]$$

Hodnoty korekčních součinitelů použitých pro úpravu řezné rychlosti jsou tyto:

Tab. 7.3. Korekční součinitele

Tabulková hodnota řezné rychlosti [m/min] v_{Tab}	579
Korekční součinitel stavu stroje k_{vX}	0,75
Korekce trvanlivosti k_{vT}	1
Korekce na tvrdost obrobku k_{vHB}	0,85
Korekce na materiál k_{vM}	0,7

Po přepočtu tabulkové hodnoty řezné rychlosti pomocí korekčních součinitelů byla získána výsledná řezná rychlost

$$v_T = 579 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,7$$

$$\underline{\underline{v_T = 258 \text{ m/min}}}$$

Dále se vypočetly otáčky dle vztahu

$$n = \frac{v_T \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{258 \cdot 1000}{\pi \cdot 82} = \underline{\underline{1000 \text{ min}^{-1}}}.$$

Legenda:

n - otáčky stroje [min^{-1}]

v_T - výsledná řezná rychlost [m/min^{-1}]

π - Ludolfovo číslo

D - průměr obráběné plochy [mm]

Drsnoměr

Drsnost povrchu byla zjišťována pomocí dotykového přístroje na měření drsnosti Surftest SJ-400 od firmy Mitutoyo. Technické parametry dotykového přístroje jsou uvedeny v příloze č. 1 a 2.



Obr. 7.4. Drsnoměr Surf test SJ-400 [10]

Mikroskop s digitální kamerou

Zaznamenání opotřebení se zajistilo pomocí fotomikroskopu s možností uložení kontrolovaného obrazu. K tomu se využívala kamera typu Marlin – F 080B (Allied) napojená na mikroskop a softwaru Micrometrics SE Premium.



Obr. 7.5. Mikroskop s digitální kamerou

Nožový držák

Pro uchycení keramické břitové destičky byl použit nožový držák typu CSRNR 2525 M12 viz obr. 7.6.



Obr. 7.6. Nožový držák typu CSRNR 2525 M12

Samotné uchycení bylo realizováno pomocí nejstaršího způsobu upnutí a to způsobu typu C (viz. obr. 7.7), kdy je břitová destička bez otvoru a do lůžka nožového držáku se zatlačí z čelní strany plochy prostřednictvím upínky.



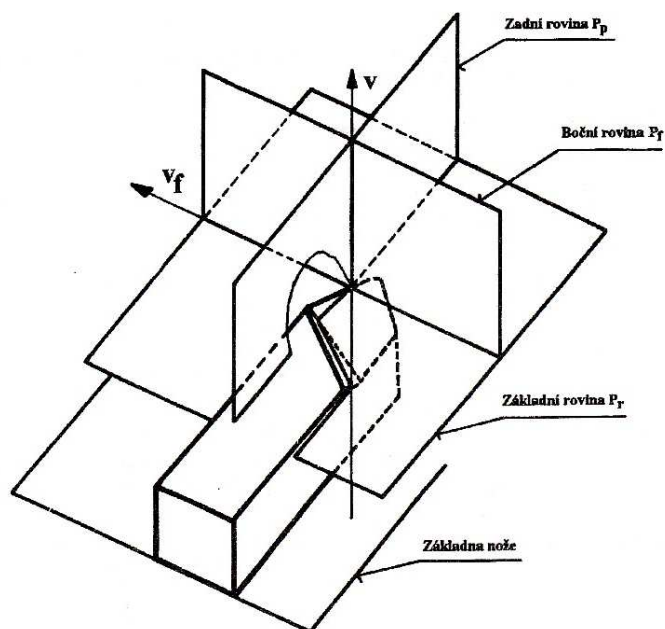
Obr. 7.7. Způsob upnutí břitové destičky dle ISO označení C

Parametry destičky:

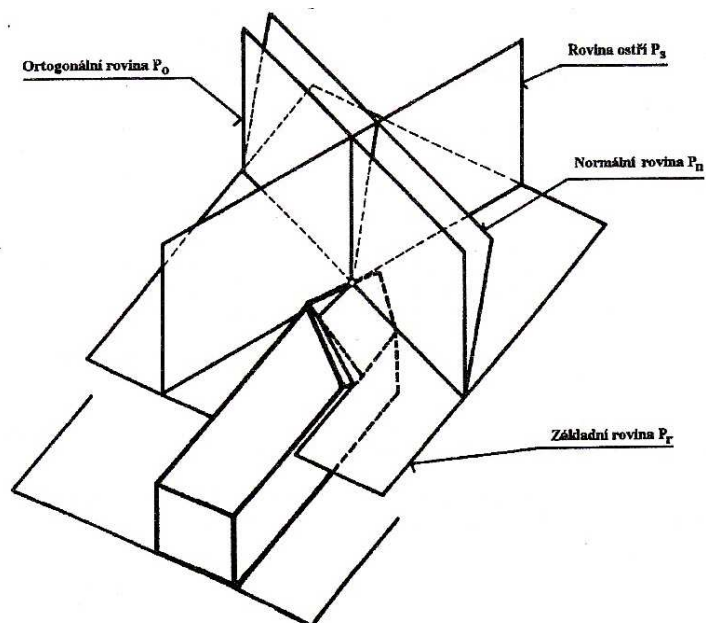
Tab. 7.4. Parametry řezné destičky

Tvar destičky	S	čtvercový
Úhel hřbetu α_n	N	0°
Úhel nastavení hlavního ostří χ_r	R	75°
Typ nože	R	pravý
Výška držáku	H	25 mm
Šířka držáku	B	25 mm
Celková délka držáku	l₁	150 mm
Velikost destičky		12

Souřadnicové roviny nástroje vycházející z předpokládaného směru hlavního řezného pohybu a směru posuvu jsou znázorněny na obrázcích 7.8 a 7.9. Úhly řezné geometrie se poté určují pomocí rovin v příslušných souřadnicových soustavách. [6]



Obr. 7.8. Nástrojové roviny souřadnicového systému [6]



Obr. 7.9. Nástrojové roviny souřadnicového systému [6]

V tabulce 7.5 jsou definovány nástrojové a naměřené úhly.

Tab. 7.5. Definice jednotlivých nástrojových úhlů [6]

		Určení		Hodnoty
		úhel mezi rovinami	v rovině	
Úhel nastavení	κ_r	$P_s - P_f$	P_r	75°
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'_r	$P'_s - P_f$	P_r	15°
Doplňkový úhel nastavení	ψ_r	$P_s - P_p$	P_r	15°
Úhel špičky	ε_r	$P_s - P'_s$	P_r	90°

Tab. 7.6. Pracovní úhly

		Hodnoty
Úhel nastavení	κ_r	58°
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'_r	32°
Doplňkový úhel nastavení	ψ_r	32°
Úhel špičky	ε_r	90°
Poloměr zaoblení špičky	r	1,5 mm

7.4 Postup práce

K vzájemnému porovnání opotřebení břitových destiček a drsnosti obrobeného povrchu byly použity destičky typu DISAL 210 (D210) a DISAL 420 (D420). Před započítím vlastního obrábění byl nachystán fotomikroskop, který se po napojení na počítač s nainstalovaným programem Micrometrics SE Premium využíval pro pozdější zaznamenání opotřebení keramické břitové destičky., dále byl připraven měřicí stolek se žulovou deskou a prizmatem do kterého se umísťovaly součásti ke zjišťování aktuální drsnosti povrchu obrobeného kusu. K tomuto byl připraven dotykový přístroj na měření drsnosti SurfTest SJ-400 od firmy Mitutoyo do nějž se ukládala veškerá naměřená data, jež se později použila spolu s vyhodnocovacím systémem, který je součástí drsnoměru na zpracování výsledků měření. Celkem bylo k dispozici 8 polotovarů, z toho 4 pro každou břitovou destičku

Abychom se při samotném obrábění dostali pod rádius špičky, jež byl 1,5 mm musela být nožová hlava vytočena o úhel 17° , tak bylo zajištěno řezání místo zatlačování materiálu (viz. tab. 7.6). Do nožové hlavy byl upnut držák typu CSRNR 2525 M12 do nějž se umístila keramická břitová destička typu DISAL 210 případně DISAL 420. Dále byly na soustruhu nastaveny řezné parametry, které se udržovaly konstantní pro všechny polotovary. **Konstantní řezné parametry byly následující:**

Řezná rychlost v_c [m/min]	258
Otáčky n [1/min]	1 000
Posuv f [mm]	0,1
Hloubka řezu a_p [mm]	1
Řezná délka l [mm]	100

Pro omezení házivosti byly polotovary podpírány kuželovým hrotem v pinole koníku. Na každém polotovaru byla nejprve odebrána tříska o takové tloušťce, aby byla zajištěna konstantní hloubka řezu po celé pracovní délce polotovaru při samotné zkoušce. Když byly zajištěny všechny aspekty nutné k správnému provedení pokusu mohlo začít měření.

Při správně nastavených parametrech řezání se odebrala první tříska o konstantní hloubce řezu 1 mm. Poté byl obrobek vyjmut ze skličidla soustruhu, provedla se optická kontrola opotřebení keramické břitové destičky pomocí fotomikroskopu a pomocí programu Micrometrics SE Premium se zaznamenalo vzniklé opotřebení způsobené odebráním první třísky. Současně se pomocí dotykového přístroje na měření drsnosti zaznamenávala kvalita obrobené plochy. Po provedení všech kontrolních měření byl obrobek znovu upnut do skličidla a odebrala se další tříska. Poté byla opět provedena všechna kontrolní měření.

Z jednoho kusu polotovaru byly odebrány čtyři třísky, každá o hloubce řezu 4 mm. Z důvodu omezeného množství kusů polotovarů, nebyly zkoušky realizovány až do úplného otupení břitu. Velikost opotřebení břitu destičky a drsnost obrobeného povrchu byly tedy srovnávány po obrobení čtyř kusů polotovarů, z nichž bylo odebráno celkem 32 mm materiálu.

Stejný postup se dodržoval i u druhé břitové destičky.

7.5 Zpracování a srovnání výsledků měření

Naměřené hodnoty pro jednotlivé břitové destičky jsou zaznamenány v tab. 7.7 a v tab. 7.8. Veškerá fotografická dokumentace týkající se opotřebení břitových destiček je pro své množství uložena na přiloženém CD.

Na základě naměřených a spočtených hodnot, bylo provedeno srovnání keramických břitových destiček DISAL 210 a DISAL 420 z různých hledisek.

Tab. 7.7. Naměřené hodnoty břitové destičky D210

destička	měření	Strojní čas t_s [min]	Opotřebení [mm]		Drsnost obrobené plochy [μm]		
			hlavní hřbet VB_h	vedlejší hřbet VB_v	Ra	Rz	Rq
D210	1	1	0,1	0,1	0,32	2,1	0,26
	2		0,2	0,2	0,54	3,3	0,67
	3		0,21	0,21	0,71	4,63	0,89
	4		0,22	0,23	0,87	5,6	0,97
	5	1	0,23	0,24	1,03	6,92	1,27
	6		0,24	0,25	1,28	7,8	1,59
	7		0,24	0,27	1,42	8,54	1,73
	8		0,25	0,28	1,51	9,3	1,91
	9	1	0,25	0,29	1,63	9,7	2,09
	10		0,26	0,3	1,78	10,2	2,2
	11		0,27	0,32	1,8	10,7	2,24
	12		0,28	0,33	1,81	11,5	2,32
	13	1	0,29	0,34	1,96	13,13	2,64
	14		0,3	0,35	2,3	14,2	2,94
	15		0,33	0,37	2,43	14,44	3,12
	16		0,35	0,4	2,68	14,6	3,29

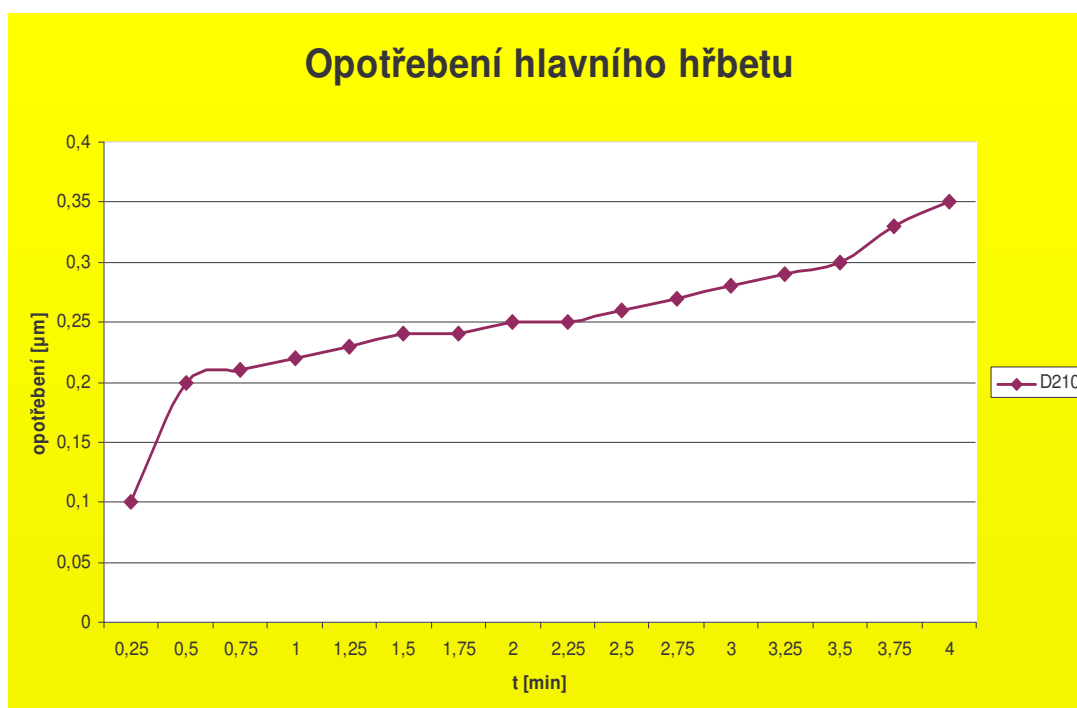
Tab. 7.8. Naměřené hodnoty břitové destičky D420

destička	měření	Strojní čas t_s [min]	Opotřebení [mm]		Drsnost obrobené plochy [μm]		
			hlavní hřbet VB_h	vedlejší hřbet VB_v	Ra	Rz	Rq
D420	1	1	0,1	0,1	0,83	5,7	1,04
	2		0,2	0,25	0,89	6,1	1,17
	3		0,23	0,27	0,94	6,4	1,26
	4		0,25	0,3	1,01	6,9	1,32
	5	1	0,27	0,33	1,09	7,4	1,38
	6		0,3	0,35	1,14	7,8	1,42
	7		0,33	0,37	1,45	9,36	1,92
	8		0,35	0,4	1,61	12,5	2,27
	9	1	0,37	0,42	1,66	13,27	2,36
	10		0,4	0,43	1,74	14,5	2,56
	11		0,5	0,44	1,86	15,17	2,58
	12		0,7	0,45	1,95	15,8	2,6
	13	1	0,8	0,48	2,36	16,2	3,18
	14		0,9	0,5	2,68	16,7	3,58
	15		1,1	0,6	2,84	18,96	3,96
	16		1,3	0,8	3,16	20,1	4,57

7.5.1 Opotřebení břitové destičky DISAL 210

Při obrábění břitovou destičkou D210 byl průběh opotřebení hlavního hřbetu z počátku skokový (viz. graf č. 7.1), ale s dalším průběhem obrábění se opotřebení hlavního hřbetu zvyšovalo jen nepatrně, což by se v konečném důsledku, v případě dostatečného množství polotovaru a obrábění až do úplného otupení břitové destičky, projevilo v celkovém strojním čase a v množství obrobeného materiálu.

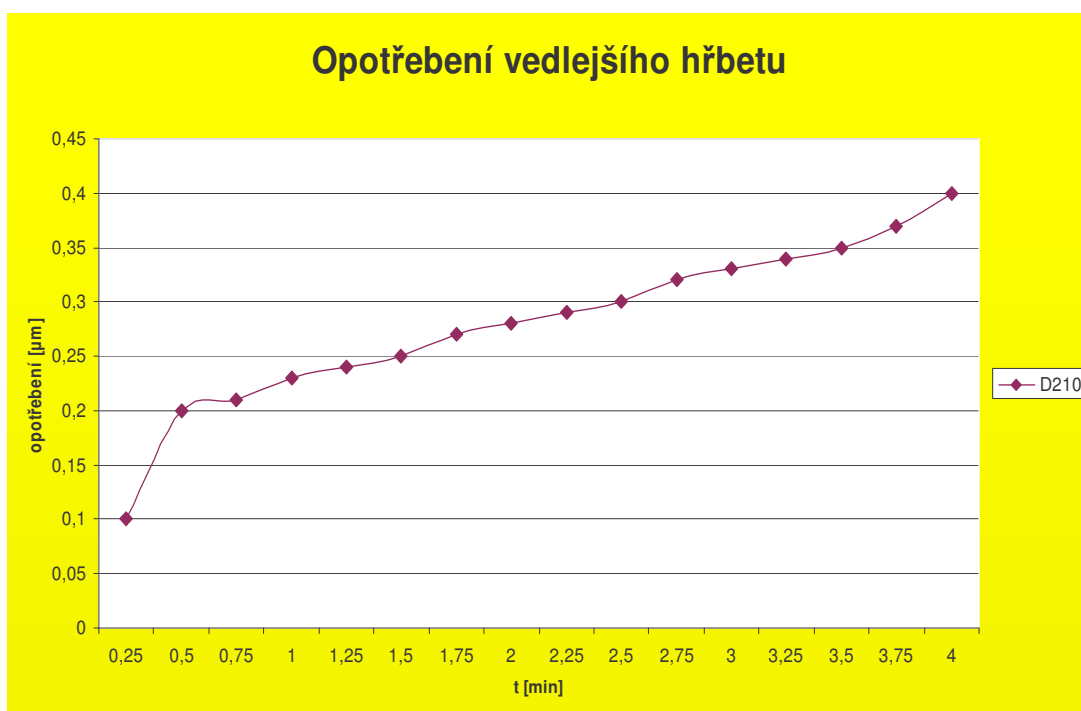
Graf č.7.1: Opotřebení hlavního hřbetu



Zdroj: Tabulka č. 7.7

V konečné fázi obrábění bylo zjištěno, že opotřebení vedlejšího hřbetu břitové destičky D210 (viz. graf. č. 7.2) bylo o 0,05 μm vyšší než opotřebení hlavního hřbetu. Je tedy možno předpokládat, že v případě obrábění břitovou destičkou D210 až do úplného otupení by byly velikosti těchto opotřebení téměř srovnatelné.

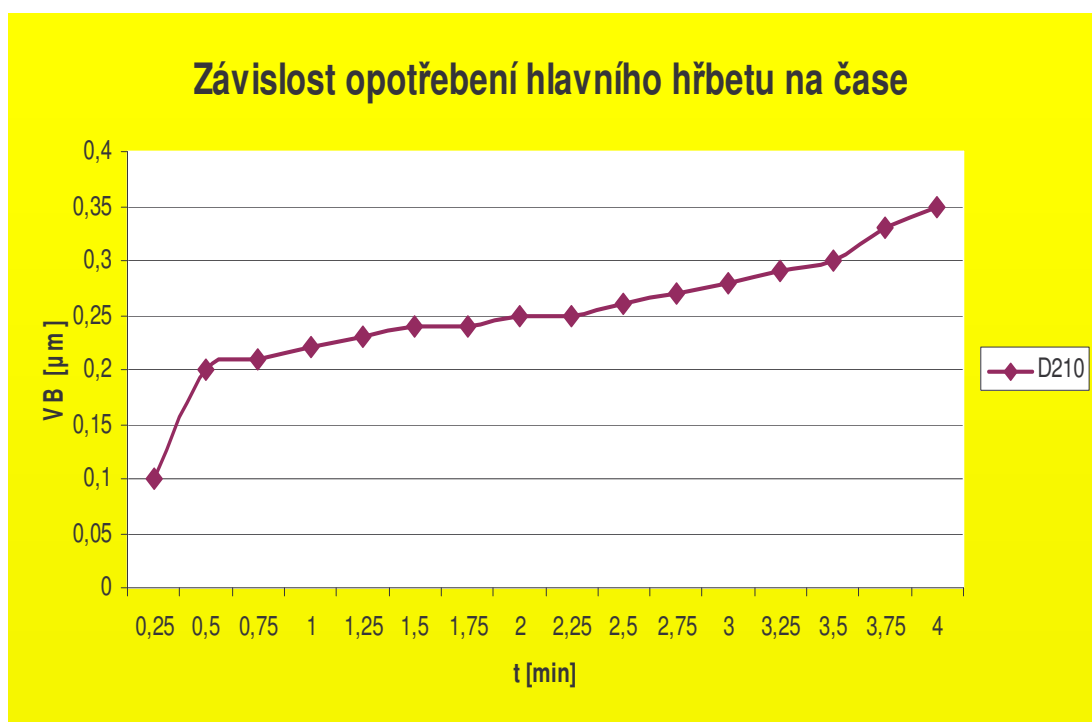
Graf č. 7.2: Opotřebení vedlejšího hřbetu



Zdroj: Tabulka č. 7.7

Z grafu č. 7.3 je možno odečíst velikost opotřebení břitové destičky D210 pro příslušné časové úseky obrábění.

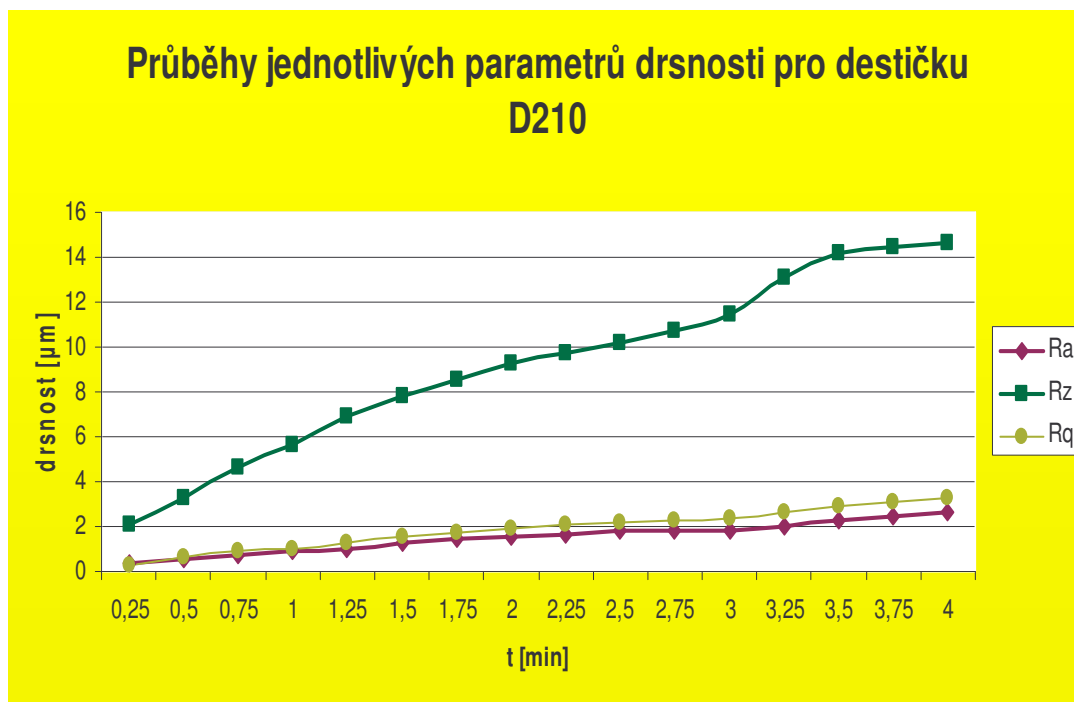
Graf č. 7.3: Závislost opotřebení hlavního hřbetu destičky D210 na čase



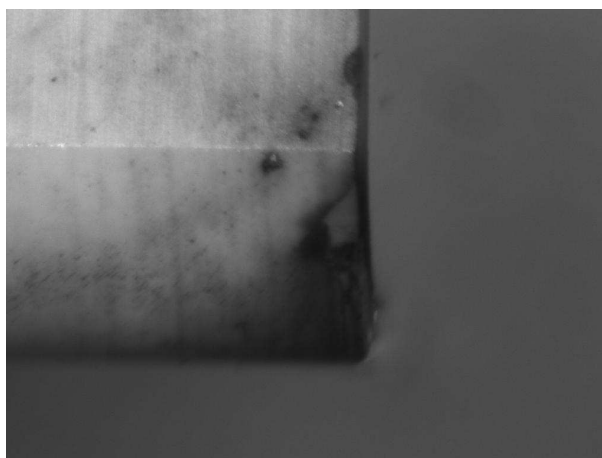
Zdroj: Tabulka č. 7.7

Z naměřených hodnot drsnosti při obrábění břitovou destičkou D210 byl sestrojen graf č. 7.4, kde jsou porovnány průběhy růstu jednotlivých parametrů ovlivňujících kvalitu obrobeného povrchu. Nejvíce je znát nárůst parametru R_z (nejvyšší výška profilu) ve srovnání s hodnoty parametrů R_a (střední aritmetická úchylka profilu) a R_q (průměrná kvadratická úchylka profilu), které nejsou tak markantní.

Graf č. 7.4: Průběhy jednotlivých parametrů drsnosti



Zdroj: Tabulka č. 7.7

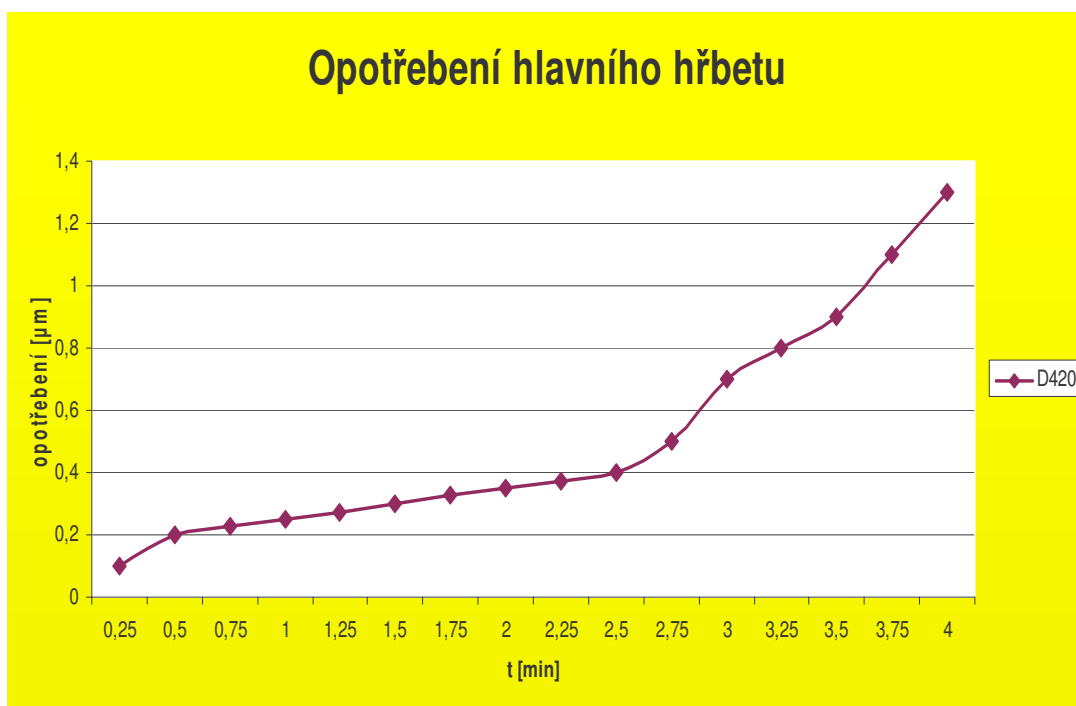


Obr. 7.7. Opotřebení vedlejšího hřbetu břitové destičky D210

7.5.2 Opotřebení břitové destičky DISAL 420

Při kontrole opotřebení hlavního hřbetu druhé zkoumané břitové destičky bylo již od počátku patrné, že pro obrábění litinového materiálu 42 2425 a při použití daných řezných parametrů nebude vykazovat tak dobré hodnoty jako tomu bylo u břitové destičky D210. Nárůst opotřebení byl mnohem rychlejší a v konečné fázi až čtyřnásobný (viz. graf č. 7.5).

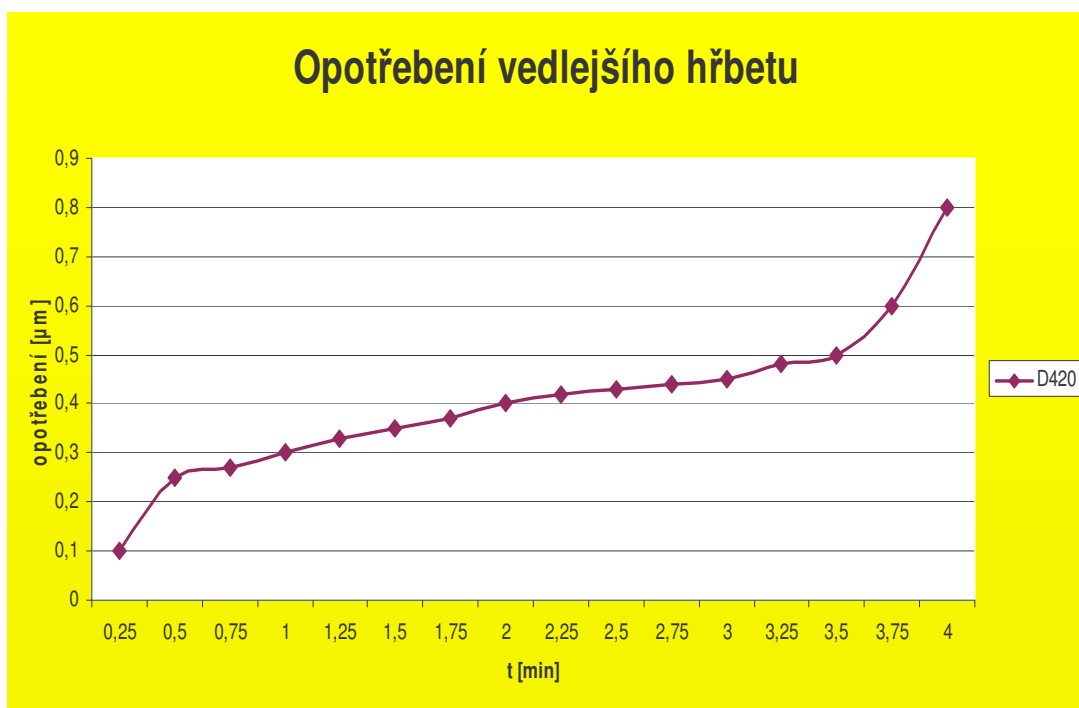
Graf č. 7.5: Opotřebení hlavního hřbetu



Zdroj: Tabulka č. 7.8

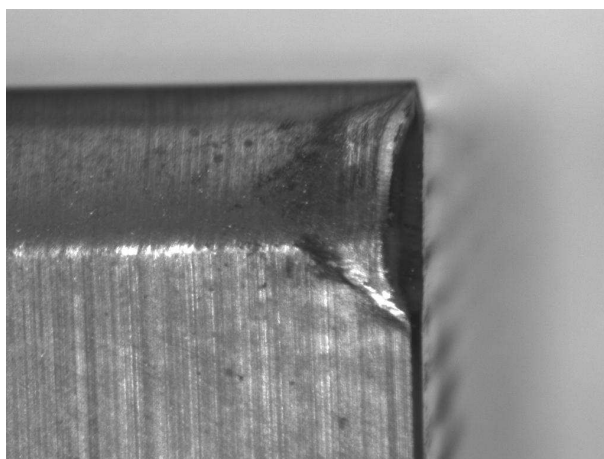
Vedlejší hřbet se opotřebovával rovněž rychleji (viz. graf č. 7.6) oproti vedlejšímu hřbetu destičky D210, ale konečný rozdíl opotřebení nebyl tak výrazný jako tomu bylo u hlavních hřbetů.

Graf č. 7.6: Opotřebení vedlejšího hřbetu



Zdroj: Tabulka č. 7.8

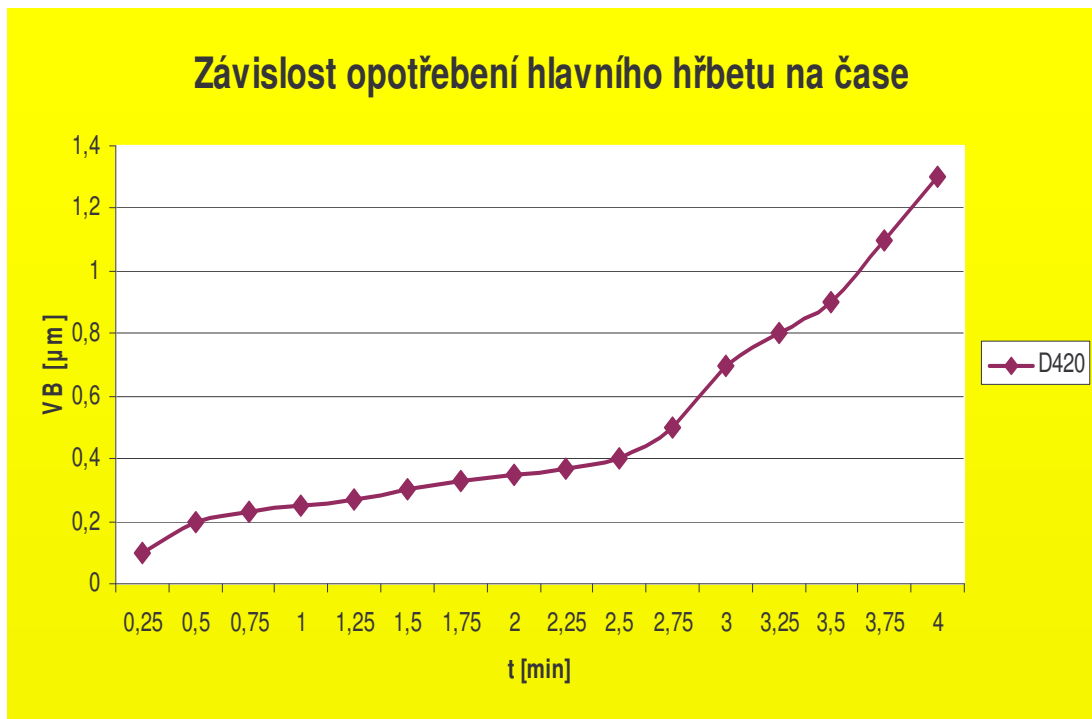
V případě hodnot opotřebení se pro přehlednost grafů provedl optický odečet setinových hodnot opotřebení a tudíž je průběh grafů jen orientační.



Obr. 7.7. Opotřebení hlavního hřbetu břitové destičky D420

V následujícím grafu je možno odečíst velikost opotřebení v konkrétní době obrábění a porovnat tak intenzitu nárůstu opotřebení oproti břitové destičce D210 (viz. graf. č. 7.3).

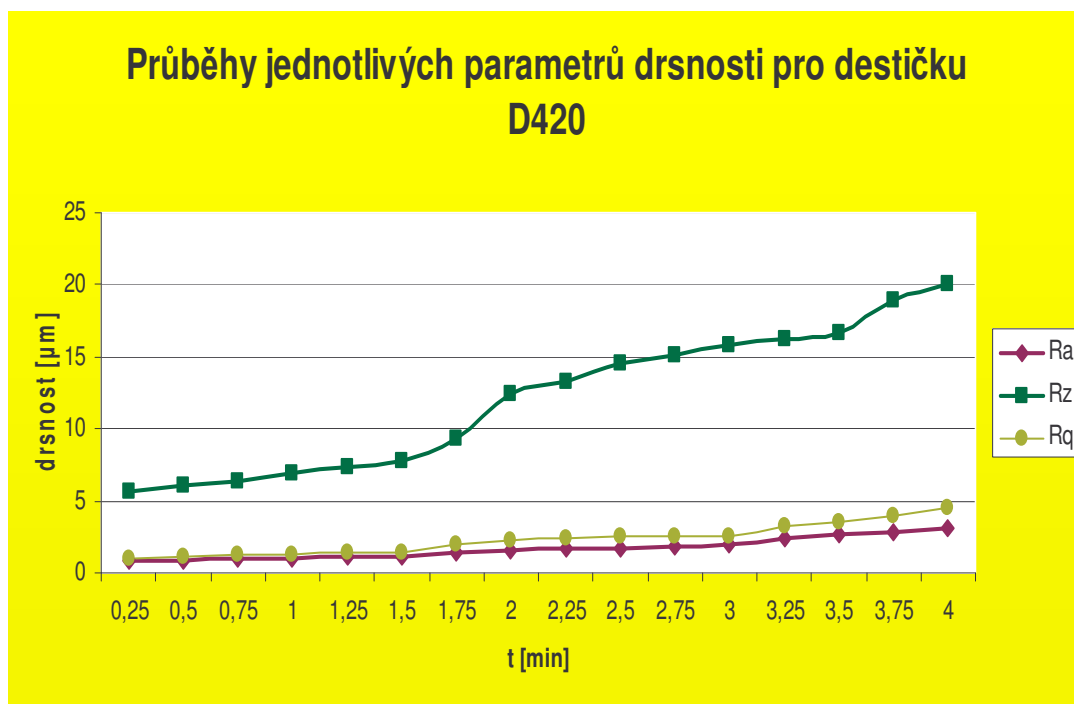
Graf č. 7.7: Závislost opotřebení hlavního hřbetu destičky D420 na čase



Zdroj: Tabulka č. 7.8

Stejně tak jako došlo k nárůstu opotřebení, zvýšily se i jednotlivé parametry drsnosti obrobeneho povrchu. Nárůst nebyl nijak výrazný, když uvažujeme velikost zvýšení opotřebení. Nejzřetelnější byl u parametru R_z , zbývající parametry R_a a R_q se téměř nezměnily.

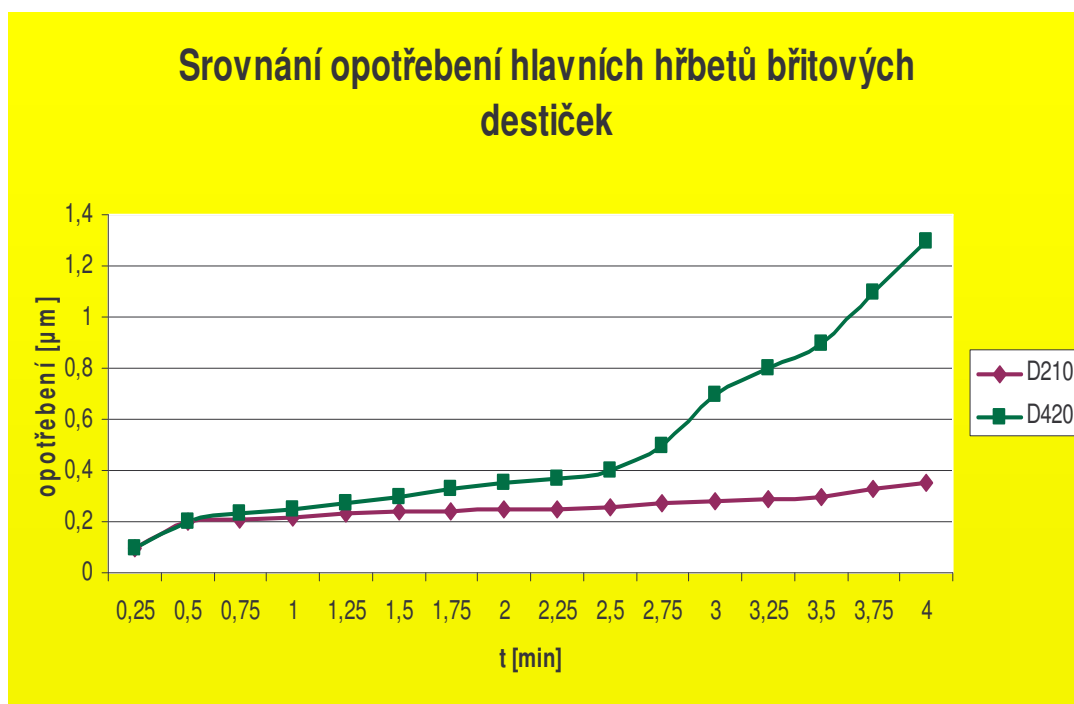
Graf č. 7.8: Průběhy jednotlivých parametrů drsnosti



Zdroj: Tabulka č. 7.8

Pro lepší znázornění rozdílů velikostí opotřebení obou břitových destiček jsou všechny hodnoty zobrazeny v následujícím grafu, z nějž je zcela patrné téměř čtyřnásobné navýšení opotřebení břitové destičky D420 vůči destičce D210.

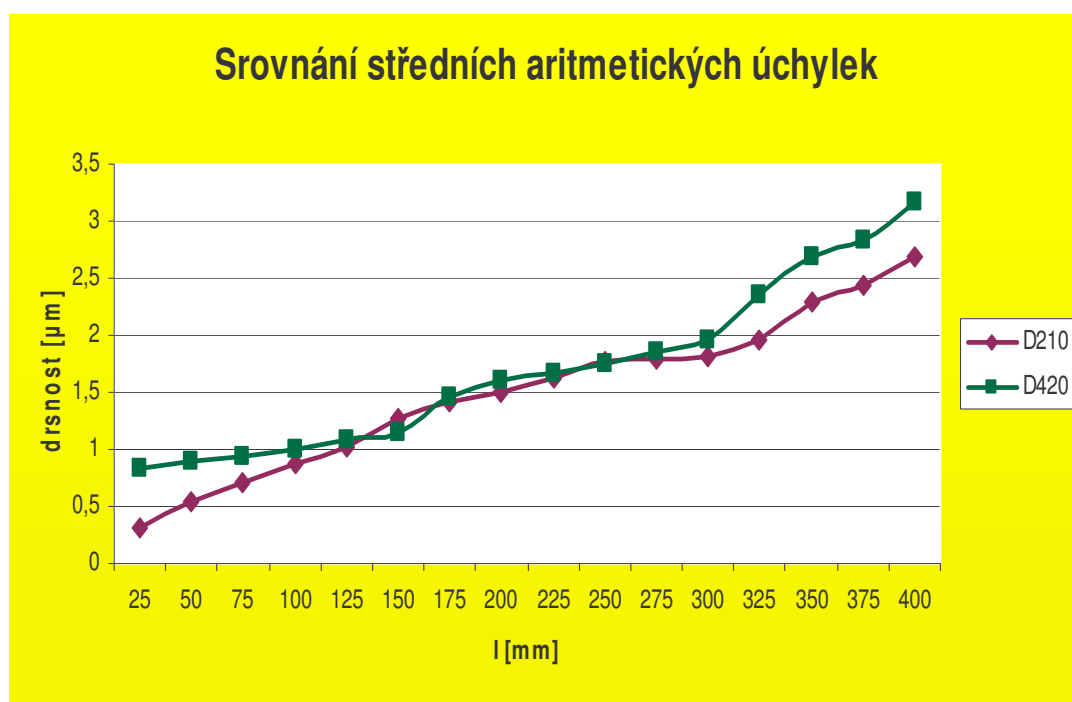
Graf č. 7.9: Srovnání opotřebení břitových destiček



Zdroj: Tabulka č. 7.7 a 7.8

Jelikož při obrábění docházelo zejména ke kontaktu ve vrcholcích nerovnosti jsou v grafu č. 7.10 z hlediska drsnosti povrchu srovnány pouze průběhy středních aritmetických úchylek. Zbylé, výše zmíněné parametry drsnosti (nejvyšší výška profilu, nejvyšší výška profilu) jsou pro účel toho měření málo vypovídající a tak do tohoto grafu nebyly zahrnuty.

Graf č. 7.10: Srovnání středních aritmetických úchylek



Zdroj: Tabulka č. 7.7 a 7.8

Veškeré výsledky měření byly získány při běžných podmínkách obrábění keramickými řeznými materiály, tzn. nepřerušovaný řez, obrábění bez chlazení s konstantní hloubkou řezu apod.

V případě dalšího zkoumání by mohlo být zajímavé vyzkoušet chování břitových destiček D210 a D420 při nestandardních podmínkách obrábění keramickými řeznými materiály, zaznamenat jejich hodnoty opotřebení a drsnosti obrobeného povrchu a provést srovnání s námi získanými výsledky.

Závěr

Cílem této práce bylo srovnání dvou typů keramických břitových destiček při obrábění litinového materiálu, v našem případě materiálu ČSN 42 2425. K tomuto účelu byly poskytnuty břitové destičky typu DISAL 210 a DISAL 420 firmou Saint - Gobain Advanced Ceramics, s.r.o. Současně s opotřebením byla kontrolována i kvalita obrobené plochy.

Zkoušky opotřebení probíhaly za konstantních řezných podmínek a výsledky se zaznamenávaly pomocí softwaru Micrometrics SE Premium. Drsnost povrchu byla sledována pomocí dotykového přístroje na měření drsnosti SurfTest SJ-400 od firmy Mitutoyo.

Výsledky měření byly tabelárně a graficky zpracovány, v případě grafů závislosti opotřebení na čase je umožněn přímý odečet opotřebení, pro stanovení aktuálního opotřebení v daném čase. Totéž lze provést pro zjištění velikosti drsnosti obrobeného povrchu.

Na základě zjištěných výsledků je doporučeno použít pro obrábění litinového materiálu ČSN 422425 keramické břitové destičky DISAL 210 (D210), které mají pro dané řezné podmínky až čtyřnásobně nižší opotřebení hlavního hřbetu, dvojnásobně nižší opotřebení vedlejšího hřbetu a také lepší kvalitu obrobené plochy.

Seznam použité literatury

- [1] PŘIKRYL, Z.; MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*, SNTL-Nakladatelství technické literatury, Praha 1982, 240 s.
- [2] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I - 1. díl*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2001, 136 s.
- [3] BRYCHTA, Josef. *Obrábění I., Návod pro cvičení 1. část*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 1998, 84 s.
- [4] *Keramika* [online]. c2006, poslední revize 14.12.2006 [cit. 2008-12-11]. Dostupné z: <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>>.
- [5] *Výkonné řezné materiály* [online], poslední revize 5.10.2008 [cit. 2008-12-11]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-rezne-materialy>>.
- [6] MRKVICA, Ivan. *Návod ke cvičení z obráběcích strojů 1. část*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2006, 148 s., ISBN 80-248-1053-0.
- [7] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a rezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s., ISBN 80-85825-10-4.
- [8] *Britové destičky z řezné keramiky* [online]. c2004, poslední revize 16.4.2009 [cit. 2009-04-16]. Dostupné z: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
- [9] *Průručka obrábění* [online]., poslední revize 22.4. 2004 [cit. 2009-04-23]. Dostupné z: <http://ns.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka_cz.pdf>.
- [10] *Přístroje na měření povrchu a tvaru* [online], poslední revize 11.9.2008 [cit. 2009-04-23] Dostupné z: <<http://www.mitutoyo.cz/pdf/katalog/cz/340-359.pdf>>.
- [11] BRYCHTA, Josef, ČEP, Robert, NOVÁKOVÁ, Jana, PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II – 1. díl*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2007, Ostrava 2007, 1. vydání, 126 s., ISBN 978-80-248-1641-8.

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Technické parametry snímače.
[<http://www.mitutoyo.cz/pdf/katalog/cz/340-359.pdf>]
- Příloha č. 2: Technické parametry posuvné jednotky.
[<http://www.mitutoyo.cz/pdf/katalog/cz/340-359.pdf>]
- Příloha č. 3: Materiálový list ČSN 42 2425
[čerpáno z registru firmy S-Kunststofftechnik s.r.o]

Příloha č. 1

Typ	SJ-401		SJ-402	
Souprava	178-956-2 (pro mm) 178-957-2 (mm/palce)	178-946-2 (pro mm) 178-947-2 (mm/palce)	178-958-2 (pro mm) 178-959-2 (mm/palce)	178-940-2 (pro mm) 178-945-2 (mm/palce)
Snímač	178-396-2	178-397	178-396-2	178-397
Způsob snímání	Metoda diferenciální indukčnosti		Metoda diferenciální indukčnosti	
Měřicí rozsah	800 μm ($\pm 400 \mu\text{m}$)		801 μm ($\pm 400 \mu\text{m}$)	
Materiál špičky hrotu	Diamant		Diamant	
Poloměr špičky hrotu	2 μm	5 μm	2 μm	5 μm
Uhel špičky hrotu	60°	90°	60°	90°
Měřicí síla (na hrot)	0,75 mN	4 mN	0,75 mN	4 mN
Poloměr zakřivení kluzné podpěry	40 mm			

Příloha č. 2

Typ	SJ-401	SJ-402
Rozsah posuvu snímače	25 mm	50 mm
Přímost (dráhy) posuvné jednotky	0,3 μm / 25 mm	0,5 μm / 50 mm
Rychlost posuvu	0,05 mm/s, 0,1 mm/s, 0,5 mm/s, 1 mm/s	
Rychlost zpětného posuvu	0,5 mm/s, 1 mm/s, 2 mm/s	

Příloha č. 3

List č. 1

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

část 6, díl 4, 422425, str. 1

díl 4, litiny s lupínkovým grafitem

ČSN 42 2425

STN 42 2425

Litina s lupínkovým grafitem

LITINA

42 2425

Chemické složení [hm. %] ¹⁾

P	S
max 0,50	max 0,15

Charakteristika

Struktura je tvořena perlitem (s malým množstvím feritu) s lupínkovým grafitem.

Střední hodnota stupně eutektičnosti

$$S_e = \frac{\% C}{4,23-0,3 (\% Si + \% P)} = 0,87-0,93$$

Mechanické vlastnosti

Stav	—
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	—
Mez pevnosti R _m [MPa] min	250
Tažnost A ₅ [%]	—
Mez pevnosti v ohybu R _{mo} [MPa] min	430
Vrubová houževnatost KCU 2 [J . cm ⁻²]	—
Průhyb y [mm] při vzdálenosti podpor 600 mm	9
Tvrdost HB max	240
Modul pružnosti E [GPa]	125,9

Informativní hodnoty při snížených a zvýšených teplotách

Teplota [°C]	-60	-40	-20	0	100	200	300	400	500	600
Mez pevnosti R _m [MPa]	207	263	258	254	242	232	241	246	199	126
Vrubová houževnatost KC [J . cm ⁻²]	5,9	6,2	6,7	7,2	7,8	8,1	8,1	7,9	7,4	7,0
Modul pružnosti E [GPa]	—	—	—	—	123,8	121,3	118,9	116,5	114,2	—

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplovní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Konduktivita	Lineární smrštění při tuhnutí
ρ [kg . m ⁻³]	c _p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ _t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	λ _s [MS . m ⁻¹]	[%]
7 230	473	12,3 . 10 ⁻⁶	49,4	—	1,2

Odolnost proti deformačním procesům

Pevnost v tahu a tvrdost válcových tyčí a stěn odlitků různých rozměrů, litych do pískových forem

Průměr zkušební tyče [mm]	15	20	30	45	60	90
Tloušťka stěny odlitku [mm]	4–8	8–15	15–30	30–45	45–80	80–120
Pevnost v tahu R _m [MPa] min	300	280	250	220	195	170
Tvrdost HB	220–280	200–260	180–240	170–230	160–220	150–210

díl 4, litiny s lupínkovým grafitem

Nejnižší pevnost mezi klíny									
Typ zkušebního tělesa		tyč neobrobená			tyč obrobená			kotouč	
		Ø 30 mm			Ø 20 mm			Ø 20 × 6	
Pevnost mezi klíny σ_{PK} [MPa] min		150			175			170	
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ									
Mez únavy σ_c [MPa] při namáhání:									
R_m [MPa]	střídavém			míjivém			ohybem za rotace (zkuš. tyč)		
	v ohybu	v tahu	v krutu	v ohybu	v tahu	v krutu	hladká	vrub 2mm	vrtání 2mm
250	—	—	—	—	—	—	min 116	—	—
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ									
teploty přeměn		$A_{11} \sim 738 + 5 (\%Si)^2 \text{ } ^\circ C$				$A_{12} \sim 738 + 18 (\%Si)^{1,75} \text{ } ^\circ C$			
Použití									
Na odlitky o tloušťce stěn 15 až 70 mm, např. na válce motorů, součásti turbin, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti, na stojany středně těžkých obráběcích strojů ap.									
Ostatní vlastnosti									
Barevné značení podle ČSN 42 0010					Třída odpadu podle ČSN 42 0030				
—					212				

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
—	—	—	—	GG-25	DIN 1691
				GG-26	DIN 1691
Francie		Velká Británie		Rusko	
FGL 250	NF A32-101-87	—	—	SČ 25	GOST1412-85
Fl 25	NF A32-101			SČ 24	GOST1412-85
USA		Japonsko		Kanada	
C1.35B	ASTM A48	FC 250	JIS G5501-89	—	—
C1.40B	ASTM A48	FC 25			
Itálie		Rakousko		Švédsko	
G 25	UNI 5007-69	GG-250	ÖNORM M3191-83	0125-00	MNC 705 E-89
Gh 190	UNI 5330	GG-25			
Polsko		Maďarsko		Norsko	
ZI 250	PN H-83101	Ov 25	MSZ 8260	—	—
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
GRS 25	SFS H.1151	—	—	FG 25	UNE 36111-73
				FG 26	UNE 36111
Belgie		—		—	
FGG 25	NBN 830-01	—			
Poznámky					
1) volí dodavatel podle druhu tavicích pecí, surovin, materiálu forem a dalších výrobních podmínek					